

С. Б у б н о в

Основные проблемы геологии

ГОСГОРГЕОЛНЕФТЕИЗДАТ

1 9 3 4

ОПЕЧАТКИ

<i>Стр.</i>	<i>Строка</i>	<i>Напечатано</i>	<i>Следует</i>
12	23 снизу	природы	породы
69	подп. в рис. 21	суперирустальным	суперкрустальным
98	5 сверху	толкованием	толкований
133	14 .	поступные	постумные
148	6 .	юры	Юры
166	надпись на фиг. 47	Эклоштовая	Эклогитовая
172	1 снизу.	Hand buchder	Haubuch der

С. Б у б н о в. Основные проблемы геологии.

Проф. С. Бубнов

Основные проблемы геологии

Перевод с немецкого И. К. Дыбовской
под редакцией проф. Е. В. Милановского



ОНТИ НКТП СССР 1934

Государственное научно-техническое
Горно-геолого-нефтяное издательство
Москва • Грозный • Ленинград • Новосибирск

S. von Bubnov

o. Professor der Geologie und Paläontologie
an der Universität Greifswald

Grundprobleme der Geologie

eine Einführung in geologisches Denken

Аннотация

Книга составлена известным немецким геологом и ставит своей задачей ознакомить широкие круги естествоиспытателей и вообще лиц, интересующихся геологией, с важнейшими вопросами и методами геологии.

Автор в оригинальной форме излагает современное состояние основных проблем геологии и их взаимоотношение, давая стройную картину о земле. Книга не представляет собою учебника, но будет служить ценным пособием при изучении геологии во вузах и может быть рекомендована для всех желающих серьезно ознакомиться с этой наукой.

Предисловие редактора

Предлагаемая вниманию читателя книга профессора Грейфсвальдского университета С. Бубнова «Основные проблемы геологии» принадлежит перу одного из крупнейших современных немецких и вообще европейских геологов.

Автор ее относится к числу весьма редких в настоящее время ученых, которые лично работают почти во всех областях геологической науки. Ему принадлежат работы по петрологии и тектонике интрузий (*Der Werdegang einer Eruptionsmasse. Geolog. petrogr. Analyse d. Intrusionstektonik im Schwarzwald*, Berlin, 1928 и др.) и по палеонтологии (*Ueber einige grundlegende Prinzipien d. paläontolog. Systematik*, 1919, *Die ladinische Fauna v. Forno (Mezzovale) bei Predazzo*, 1921) по стратиграфии и региональной геологии, четвертичной геологии и тектонике (*Studien im südwestdeutschen Grundgebirge*, 1926, *Ueber das Alter d. Gebirgsbildung im Niederschlesien*, 1925, *Die hercynischen Brüche im Schwarzwald, ihre Beziehung zur Karbon. Faltung in ihre Posthumität*, 1921, *Die Grundlagen d. Deckentheorie in d. Alpen*, 1921, *Die Gliederung der Erdrinde*, 1923 и др.). Он дал также целый ряд капитальных исключительно ценных сводок по каменноугольным месторождениям Германии и СССР (*Deutschlands Steinkohlenfelder*, 1926, и *Die Kohlengerlagerstätten Russlands und Sibiriens*, 1923) и по геологии Европы (*Geologie von Europa*, B. I, 1926 и B. II, T. I, 1930). Последняя из названных работ является первой попыткой синтеза и систематического изложения колоссального материала по геологии Европы. Несмотря на столь широкий размах научных интересов, в каждой области, затронутой его исследованиями, Бубнов является подлинным мастером и знатоком. Его работы отличаются богатством содержания, оригинальностью и глубокой разработкой каждой исследуемой проблемы. Его всегда интересует самое существенное, основное и принципиальное, что придает его работам особенное значение и интерес. Обширные сводки Бубнова не являются чисто компилятивными трудами, а всегда построены на основе его собственных оригинальных концепций и представляют стройное композиционное целое.

Эти особенности научного творчества автора «Основных проблем геологии» ярко отразились на этой интересной книге. В ней Бубнов делает попытку выйти от канонизированных обычаем схем построения книг, вводящих в геологическую науку, и избирает оригинальный план изложения и новый своеобразный путь, следуя которому, он вводит читателя в лабораторию научной мысли.

Как предупреждает сам автор, эта книга не учебник в обычном смысле слова. В ней он стремится по мере возможности избежать всякой догматики, всякой эклектической систематики, свойственной обычным курсам геологии, пытаясь, по его собственным словам, «дать логическую систематику совокупности наблюдений и выводов». Но в более широком смысле эта книга является учебником, уча геологически мыслить, уча разбираться в геологических вопросах, раскрывая специфические особенности геологии как науки, развертывая перед читателем совокупность геологических проблем в их взаимосвязи и закономерном историческом развитии. С большим мастерством Бубнов сумел в этой небольшой по объему книге выявить основные черты геологии как науки, сочетающей в своей методологии методы физико-химических и биологических дисциплин с методами исторического исследования, очертить конкретные задачи, взаимную связь и пределы приложимости тех и других, обрисовать четко главнейшие этапы развития и современное состояние главнейших геологических проблем в их взаимной связи и обусловленности. Этим он достигает того, что сущность геологии гораздо полнее и ярче воспринимается читателем из этой небольшой книжки, чем из многих обширных, объемистых курсов этой науки.

Большую ценность эта книга представляет в том отношении, что она заставляет серьезно задуматься над многими важнейшими вопросами геологии, выдвигает на первый план необходимость теоретического осмысливания научного материала, необходимость критического пересмотра многих установившихся представлений, давая импульсы к самостоятельной работе в этом направлении. Нельзя не отметить также основную черту этой книги — широкого применения исторического метода исследования и логического анализа основных понятий геологической науки.

Само собой разумеется, что многие из тех вопросов, обсуждению которых посвящена эта книга, никоим образом не могут считаться разрешенными современной наукой, и те попытки их решения или даже постановки, которые даются автором, являются дискуссионными. Против ряда положений, излагаемых в книге, можно было бы выдвинуть возражения и фактического и принципиального порядка. Но это не умаляет значения и большого интереса этой работы, знакомство с которой, можно думать, окажется весьма полезным не только для работников в области геологии, но и для широких кругов натуралистов и вообще людей, интересующихся вопросами естествознания.

Е. Милановский

Предисловие

С самого начала я хотел бы предупредить, что эта книга не представляет собой учебника геологии, так как имеющийся в ней материал дает, с одной стороны, меньше, чем требуется для учебника, а с другой стороны—больше, а главное—он совершенно иначе обработан. Я говорю меньше, потому что эта книга не претендует на исчерпывающий обзор всех направлений геологической работы; наоборот, некоторые большие отделы, как например выветривание, формы проявления «экзогенных сил», образование земной поверхности в ее настоящем виде и т. п., совершенно сознательно или только намечены или совсем не затронуты. Это сделано с той целью, чтобы основные идеи работы были яснее выявлены, но может быть именно поэтому данная книга дает больше, пытаясь вместо эклектической систематики, которую мы обычно находим в учебниках, дать логическую систематику совокупности наблюдений и выводов.

Внешними поводами к этой работе послужили, с одной стороны, статьи автора в «Naturwissenschaften», которые, как показали многочисленные письма, вызвали живой интерес в самых широких кругах естествоиспытателей, благодаря чему я считал полезным подвергнуть затронутые в этих статьях вопросы более широкой дискуссии¹, с другой стороны, сознание необходимости самому пересмотреть все основы нашей науки и систематизировать для дидактических целей все ее логические предпосылки, к чему я пришел, читая лекции в Грейфсвальдском университете.

Внутренним поводом к написанию этой книги было стремление устранить то неправильное понимание, которое встречает геология не только у представителей гуманитарных наук, но и у естествоиспытателей других специальностей. До сих пор имеются мнения, что геология представляет собою лишь ряд более или менее фантастичных построений, что она в высшей степени «неточна», а потому не может собственно говоря рассматриваться как нечто серьезное. Это предубеждение в большой мере основывается на том, что в общем многие еще слишком мало ориентируются в своеобразных особенностях геологического мышления и не знают руководящей им логической необходимости. В конце концов точность заключается в логически ненарушенной цепи умозаключений, основанных на наблюдениях; она не всегда

¹ Grundprobleme der Geologie Europas. „Naturwissenschaften“, Н. 7, 31, 40, 4^о, 1928; Н. 9, 23, 1929; Н. 4, 1930.

Некоторые вопросы из этих статей прямо легли в основу этой книги, для чего они были переработаны в различных сочетаниях.

является лишь «формальной точностью», основанной на числе и мере, да и эта последняя точность не всегда осуществляется в биологических науках. Картина, написанная красками, дающая в едином представлении синтез впечатлений, разъединенных временем, может при известных обстоятельствах быть иногда «точнее», чем фотография, которая слепо передает случайное положение, не вдаваясь в оценку существенного и несущественного. Часто эта оценка, а также логическая точность остаются не замеченными, так как естествоиспытатели часто грешат склонностью вообще не обращать внимания на логические обоснования, которые с их точки зрения сами собою разумеются. Поэтому введение в геологическое мышление особенно нужно именно тогда, когда мы ищем общую базу для дискуссии с родственными науками.

Здесь надо в первую очередь исследовать, насколько общеобязательны данные геологии и насколько они еще требуют дальнейшего исследования или видоизменения в связи с данными других естественных наук. Я думаю таким образом восполнить пробел в нашей литературе и надеюсь, что не только студенты, изучающие естественные науки, но и лица, вообще интересующиеся вопросами геологии и естествознания, а также, может быть и прежде всего, представители других отраслей природоведения обратят внимание на эту книгу как на введение в изучение геологии или как на стимул, побуждающий к дальнейшим исследованиям. А может быть она послужит основанием для дискуссии в родственных областях, от которых как раз можно ожидать разрешения основных вопросов.

В тексте имеется много указаний на важнейшую и основную литературу. Кроме того, зная, что терминология с ее неизбежным применением иностранных слов представляет самые большие затруднения при ознакомлении с предметом, я могу рекомендовать маленький геолого-минералогический словарь П. В. Шмидта [C. W. Schmidt, Verlag W. de Gruyter, Berlin — Leipzig (2. Auflage, 1928)].

Грейфсвальд, ноябрь 1930 г.

Основы геологии с точки зрения теории познания

Исходным пунктом данной работы послужили некоторые общие положения, которые в некоторых существенных пунктах соприкасаются с книгой Земпера¹.

Руководящим стимулом к этому было желание перекинуть мост между точками зрения гуманитарных и естественных наук. Частые недоразумения между этими науками объясняются тем, что им не хватает общей теоретико-познавательной основы, что опять-таки является следствием того резкого разграничения, которое нередко стараются провести между двумя областями духовной жизни.

Прежде дело обстояло иначе, так как тогда философия являлась собиравшим понятием, охватывавшим все отрасли знания. Затем началось постепенное разобщение последних, и первыми приобрели самостоятельное значение те дисциплины, которые касались непосредственного исследования фактов. Таким образом первыми получили самостоятельное оформление физика, химия, зоология и ботаника, которые преследовали собственные цели и вырабатывали собственные методы. Геология же этот процесс развития прошла сравнительно поздно, что объясняется особенностями ее построений и целей, которые она преследовала.

Легко понять, что современный мир и его строение гораздо легче можно постичь, основываясь на изучении его существующего состояния и действующих сил, чем полагаясь на умозрительные заключения. Поразительно, что наука так поздно вступила на этот путь. Труднее было осознать тот факт, что прошлое — самый процесс развития земли — может быть воссоздано непосредственным наблюдением, что сама природа представляет в наше распоряжение документы, которые помогают нам расшифровать историю ее возникновения.

Так до XVIII столетия влачили жалкое и обособленное существование две части геологии, которые теперь неразрывно связаны друг с другом: геогнозия, которая прежде всего служила целям горной промышленности, и, отказываясь от разрешения генетических проблем, ограничивалась лишь простым описанием (Агрикола является одним из наиболее интересных представителей этой науки), и геогения — наука о возникновении земли, которая совершенно не считалась с фактами и основывалась сначала на библейской истории сотворения земли, а затем, хотя по содержанию от нее освободилась, но формально продолжала оставаться на том же умозрительном пути; она рассматривалась как неразрывная составная часть общего миро-

¹ M. Semper. Die geologischen Studien Goethes, Leipzig, 1914, Veith und Co.

воззрения, следовательно философии, и «Epoques de la nature» Бюффона с ее талантливыми теориями является в сущности только подтверждением этого печального отчуждения и неправильной методик.

Но когда все естественные науки наконец совсем обособились, новое сближение их с философией стало казаться невозможным. Большой заслугой так называемой идеалистической философии, особенно Вандельбанда и Рикерта, является то, что они резко указали на отчужденность между этими отраслями познания и положили конец тому частому смещению понятий, какое например проявляется в «Мировых загадках» Геккеля¹. Но если таким образом монизм должен сменить научный дуализм, то препятствия к воссоединению разделенного как будто бы устраняются сами собою.

Но здесь выступает новое обстоятельство, которое создает взаимоотношения на новой основе. Если мы не рассматриваем науку как

¹ Автор совершенно правильно подчеркивает наличие разрыва между философией и естествознанием, который образовался на известном этапе развития научного познания, но его указание на то, что заслуга выявления этого разрыва принадлежит идеалистической философии, является неверным и нуждается в исправлении.

На дуализм между естествознанием и философией совершенно определенно указывали также и представители материалистической философии, именно диалектического материализма. Энгельс например многократно затрагивал этот вопрос в своих работах, подчеркивая со всей резкостью тяжелые последствия такого дуализма как для философии, так и для естествознания. То пренебрежение к философии, какое нередко обнаруживалось со стороны естествоиспытателей, привело в конечном итоге к тому, что они, по выражению Энгельса, остались „полужайками в области теории, в области того, что называлось до сих пор философией“. Но так как для естествознания необходимость теоретического обобщения накопленного материала остается неустраняемой, то ему волей-неволей приходится обращаться к философии, в которой естествоиспытатели оказываются беспомощными, подпадал под влияние модных философских течений, нередко весьма невысокого качества. Энгельс очень ярко рисует это в „Диалектике природы“, в следующих словах: „Естествоиспытатели воображают, что они освобождаются от философии, когда игнорируют или бранят ее, но так как они без мышления не могут двинуться ни на шаг, для мышления же необходимы логические определения, а эти определения они неосторожно заимствуют либо из ходячего теоретического достояния так называемых образованных людей, над которыми господствуют остатки давно прошедших философских систем, либо из крох обязательных университетских курсов по философии (что приводит не только к отрывочности взглядов, но и к смешиванию из воззрений людей, принадлежащих к самым различным и по большей части самым скверным школам), либо из некритического и несистематического чтения всякого рода философских произведений, то в итоге они все-таки оказываются в плену у философии, но к сожалению по большей части — са ей скверной; и вот люди, особенно бранящие философию становятся рабами самых скверных вульгаризируемых остатков самых скверных философских систем“.

Выход из такого положения может быть достигнут, как правильно указывает Энгельс „тем, что естествознание усвоит себе результаты, достигнутые развитием философии в течение двух с половиной тысяч лет“... „Знакомство с историческим развитием человеческого мышления, с господствовавшим в разные времена пониманием всеобщей связи внешнего мира необходимо для теоретического естествознания“, — говорит он. В особенности важно, чтобы натуралисты познакомились основательнее с „диалектической философией в ее исторически данных формах“, потому что „именно диалектика является для современного естествознания самой правильной формой мышления, ибо она одна представляет аналог и, значит, метод объяснения для происходящих в природе процессов развития, для всеобщих связей природы, для переходов из одной области исследования к другой“ (Энгельс. „Диалектика природы“).

Прим. ред.

практическое ремесло, если в нас живут чисто теоретические интересы, то у нас всегда в определенной степени будет чувствоваться страстное желание охватить общую картину мира, выработать целостное мировоззрение. И поскольку в науке осуществляется стремление к истине, нами руководит желание познать эту истину и видеть в ней для себя жизненную ценность. Здесь мы опять приближаемся к философии, так как современная философия не представляет собой специальной науки; это — и не история, и не этика, и не эстетика, это — учение о понятиях и путях их формирования.

Здесь опять возможны точки соприкосновения и может быть дан путь к устранению этого печального раскола между двумя ветвями духовной жизни, так как, когда мы вдумываемся в сущность понятий и осознаем пути их постижения, то мы тем самым углубляемся в философию. Последняя становится опять чем-то в роде надстройки (во всяком случае не в духе греков) к науке, не объясняющей действительность, а ее оценивающей. В этом смысле можно говорить о философии каждой науки. Но если мы ею занимаемся, то это мы можем делать только с помощью философского, т. е. исторического метода, а не с помощью методов отдельных наук. Тогда мы изучаем настоящее и прошлое идей, содержащуюся в них истину и их логические возможности.

Продуктивен ли этот путь? Можно ли его использовать для специальных задач нашей науки? Для исследовательской работы в собственном смысле этого слово его конечно рекомендовать нельзя; но в каждой науке бывают периоды неустойчивости, когда основные теоретические построения начинают колебаться: тогда ощущается стремление к самосанализу, к размышлению о степени соответствия истине наших основных представлений.

При этом в пройденном историческом пути нас конечно интересует не каждая старая теория как таковая, а путь, который к ней привел, и вкравшиеся в ее построение ошибки. Здесь нами может быть использован историко-философский метод рассмотрения. Он конечно не является всеисцеляющим средством, так как многие суждения постоянно будут оставаться субъективными, но это может все-таки помочь выявить со всей остротой ошибки метода мышления.

Здесь я могу конечно только эскизно набросать основные черты этого особого метода исследования.

Основные вопросы, которые должны быть для этого сформулированы, будут примерно следующие: что представляет собой наша наука, по каким путям она следует, какие ошибки возможны в ее построениях, каковы ее конечные цели?

Если мы зададим вопрос: «что такое геология», то в большинстве случаев нам ответят: «изучение земли методами естествознания». Этот ответ имеет в себе правильное ядро, поскольку геология стремится явления, связанные с землей, сделать доступными пониманию при помощи законов природы; следовательно она не является самоцелью, поскольку она не выводит сама основных космических законов, но основывается на законах других отраслей естествознания, особенно физики и химии. И, несмотря на это, я не могу согласиться с подобным определением, так как в нем кроется одна методологическая опасность.

Это определение не должно никоим образом выражать того, что все методы названных наук применимы в геологии, что все их специальные положения обязательны для геологии. Принципиальная разница заключается в том, что геология должна выяснить не только настоящее состояние на основании современных явлений, но что она должна проследживать и истолковывать развитие, т. е. протекающий во времени процесс, стадии которого не подлежат ее непосредственному наблюдению. Она конечно должна находиться в полном согласии с основными научными законами: гравитации, термодинамики и т. п., отдельные же эксперименты не должны быть для нее обязательными, так как она всегда может поставить вопрос, имеет ли значение в других условиях пространства и времени тот опыт, который оказывается верным сегодня при данных условиях. Поэтому в геологии эксперимент играет вообще более подчиненную роль. Я могу наложить друг на друга пластины воск и глину и сдавить их в складки, но я не могу утверждать, что этот процесс идентичен процессу горообразования, так как громадные массы, приводимые в движение в течение больших периодов времени, могут проявить совершенно другие взаимоотношения. В то время как эксперименты, которыми пользуются физика и химия, имеют всеобщую значимость, независимо от места и времени, опыты, с которыми нас знакомит история земли, несут особый и прежде всего однократный характер. Они и необратимы и неповторяемы, они протекают в таких масштабах времени и пространства, которые заранее исключают возможность точного подражания. Эксперименты геологии не поддаются также непосредственному наблюдению; они сначала должны быть исторически воссозданы. Это воссоздание является в геологии историческим моментом, который отличает ее от всех остальных отраслей естествознания. Если же геологические данные противоречат при этом результатам химических и физических опытов, то это не значит, что надо истолковать иначе эти самые данные; напротив, следует подвергнуть сомнению всеобщую применимость этих опытов для всех случаев. Геология представляет собою науку, связанную с определенными условиями времени и пространства, которая благодаря этому должна пользоваться особыми геологическими методами. Это много раз отрицалось, как например Фогельзангом, который хотя и провозгласил сам это положение, но впоследствии отверг его, признав единственно насильственным принципом микроскопическую физиографию, т. е. собственно физический метод. В результате исследователи стали теряться в мелочах, упуская из виду более важную истинно геологическую точку зрения. Горную породу стали рассматривать в сущности только с точки зрения ее микроскопического состава, совершенно забывая, что она также играет роль и как целое, как определенное геологическое тело.

То, что в других естественных науках дано непосредственно, — последовательность ряда событий и их следствий, — в геологии как раз является объектом изучения. Этот минус однако уравнивается тем преимуществом, что методы естествознания оказываются возможными простираť на пространственные и временные комплексы, которые вследствие своей колоссальности не подлежат экспериментальному исследованию.

Опасность исторического метода исследования в геологии заключается прежде всего в том, что при воссоздании историко-геологических экспериментов случайное может быть легко смешано с существенным; поэтому геолог при своей исследовательской работе должен принимать во внимание зависимость между различными особенностями ландшафта и эпохи, так как для него, в противоположность физике и химии, не безразлично, когда произошло данное событие. Эта связь со временем объясняет нам, почему в геологии кажется особенно мало пригодной «схоластическая» классификация явлений в форме учебника, так как в этом случае проблемы оказываются вырванными из их индивидуальной обстановки¹.

С другой же стороны, именно это стремление в геологии — облекать свои положения не в форму определенной системы, а в форму исторического изложения — имеет то неудобное следствие, что оно затрудняет понимание предмета не только лицам, незнакомым с геологией, но и представителям других родственных дисциплин естествознания.

Но если мы признаем, что понятие времени является интегральной составной частью геологического исследования, то все же мы не должны увлечься и рассматривать геологию как чисто историческую науку, как это делает например И. Вальтер в своем «Введении в общую палеонтологию». Этот вопрос играл определенную роль при философском систематизировании наук. Высказывалось мнение, что геология стремится реконструировать развитие, имевшее место один раз, а потому она преследует ту же цель, что и история. Отчасти это верно, но здесь следует учитывать, что, говоря о развитии, имевшем место один раз, мы имеем в виду не понятие об индивидуальном, а известную совокупность естественных закономерностей во времени, и в этом заключается существенное отличие геологии от истории.

Мне не важно знать, в частности, как именно жил тот экземпляр пресмыкающегося, который выкопан мною, — для меня он имеет значение только как показатель, как представитель большого числа себе подобных, т. е. можно сказать, как биологическая реакция на историко-геологические процессы.

Мой интерес сосредоточивается не на индивидууме самом по себе, а на индивидууме как представителе вида. Точно так же для меня совершенно безразлично, где произошла интрузия гранитов — во Франции или в Зулудандии, точно так же как в физике не имеет никакого значения, наблюдать ли отклонение лучей на Юпитере или на Сатурне. Методы геологии являются не индивидуализирующими, а обобщающими. Поэтому они все же естественно-исторические, хотя введение понятия времени и придает им особый отпечаток.

С такими соображениями мы можем перейти к рассмотрению методов. В дальнейшем мы не будем излагать каждый метод в отдельности, но будем давать их логическое построение, так как оно во многом отличается от других наук. Это зависит, как я уже указывал, от ограниченной роли эксперимента в геологии, что придает усилен-

¹ Русский геолог, проф. Милановский, поэтому не без некоторого основания сказал, что старые геологические учебники скорее напоминают магазин случайных вещей, чем научный музей.

ное значение умозаключениям и образованию понятий и теорий, и чем может быть оправдано то, что мы в особенности стремимся проверить в геологии ее логическое содержание. Можно было бы опять спросить, имеет ли это практическую ценность. Думаю, что на этот вопрос можно ответить утвердительно. Земпер высказал уже много лет тому назад вполне основательное мнение, что, если мы будем исследовать подобным образом геологию, т. е. будем по существу изучать в истории геологии, как делались геологические выводы, мы сможем проследить ошибки в ранее сделанных заключениях и может быть на основании этого даже составить представление о том, находимся ли мы сами сейчас на правильном пути или и теперь еще не исключены определенные источники ошибок.

Мне хочется с самого начала немного выяснить то, что по-моему многие натуралисты себе слабо представляют и что повидимому является источником недоразумений между гуманитарными и естественными науками.

Если я на основании наблюдения формулирую какое-либо понятие, то это понятие ни в коем случае не может быть отождествлено с действительностью; оно содержит и меньше и больше, чем действительность. Меньше — потому что оно отвлекается от деталей, больше — потому что оно оценивает важное и неважное. Однако в каждой науке мы оперируем с понятиями, а не с самой действительностью, и в этом кроется значительный источник ошибок, так как принятая оценка часто определяется субъективными моментами и всегда общим уровнем знаний. Это можно хорошо проследить по истории теорий горообразования.

По воззрению нептунистов XVIII столетия, доведенному Вернером до расцвета, признавалось, что все природы, в том числе и гранит, явились в результате осаждения из водных растворов. Гете разработал этот взгляд в довольно законченную теорию. Она особенно поучительна, так как мы можем точно проследить ее возникновение¹.

Гете исходил из того факта, что мы обычно наблюдаем в граните довольно правильную трещиноватость по трем друг к другу перпендикулярным плоскостям, из которых одна часто проходит параллельно границам гранита. Это наблюдение само по себе правильно; впоследствии на него обращали слишком мало внимания и только со времени гранитно-тектонических исследований Клооса оно стало опять одним из краеугольных камней теории горообразования.

Объяснение, которое давалось тогда этому наблюдению, имело совсем другое направление. Явление правильной трещиноватости было поставлено в параллель с правильными ограничениями минералов, а отсюда было выведено заключение, что оба эти явления происходят от одной причины, т. е. что отдельные гранитные параллелепипеды представляют собою как-бы исполтинские кристаллы.

Где находится ошибка в этом ряде заключений?

Несомненно в совершенно недостаточном определении понятия «кристалл», который определяется не только формой, но также и прежде всего физической и химической однородностью. Следовательно здесь мы имеем дело с образованием неисчерпывающего понятия,

¹ M. Semper, l. c.

с неправильной оценкой существенного и несущественного. Но выявить тогда эту ошибку было трудно, если не невозможно, так как здесь требовались не только количественно, но и качественно новые знания для умения правильно судить о различии между породой, образовавшейся в результате отвердевания расплавленной массы, и породой, возникшей от осаждения в водной среде. Для этого необходимо было выработать методы микроскопической петрографии, которая делает возможным точные доказательства в этой области.

Однако, если основываться на таком положении, то все дальнейшее построение теории Гете логически совершенно последовательно. Из горячего первобытного моря выделялись и напластовались друг на друга последовательно гранит, порфир, а затем, благодаря медленно убывающей по направлению вверх кристаллизационной силе, известняк и другие осадочные породы; при этом сверху они не должны были обязательно быть ограничены горизонтальной плоскостью; верхняя поверхность могла формироваться обычным образом для кристаллических агрегатов, которые часто образуют резкие выступы в раствор, из которого они выделялись. Поэтому в те времена совсем не должно было казаться странным, если ограничивающие поверхности различных пород залегали наклонно или совсем вертикально. Как раз то, что сейчас является основным пунктом в тектонике, — наклонное положение пластов и различная высота залегания пород — при этом толковании теряло всякое значение.

Если сейчас для нас эта картина представляется совершенно ложной, то причина этого заключается не в отсутствии последовательности в сделанных тогда логических умозаключениях, а только в неясности в определении исходного понятия, которое впрочем в те времена вполне соответствовало общему уровню знаний. К этому надо добавить неудовлетворительное выражение первого положения, так как три направления трещиноватости в действительности неравноценны, и как раз это обстоятельство послужило впоследствии краеугольным камнем для новой теории. Но это открытие принадлежит только нашему поколению.

По этому поводу напрашивается вопрос: нет ли в современных нам теориях горообразования каких-либо положений, которые покажутся абсолютно неприемлемыми следующему поколению. Земмер например указывает на то, что почти все профили, проведенные через районы со сложной тектоникой, не могут быть продолжены ниже, чем до известной глубины, именно потому, что обычно бывает трудно составить себе вполне ясное (геометрическое) представление об их продолжении вниз.

Является вопрос, имелись ли в те времена, не говоря о качественно новых знаниях, чисто логические возможности распознавания ошибочности теоретических построений. Можно, как показал Земмер, на самом деле установить три критерия, которые играют известную роль при суждении о правильности построения гипотезы, а именно:

1. Существование фактов, остающихся необъяснимыми.
2. Необходимость другого истолкования (перетолковывания) данного положения (*Die Umdeutung des Befundes*).
3. Так называемые «*Ueberbrückungsschlüsse*», т. е. заключения,

служащие связующим мостом, или несостоятельные цепи заключений (inkonsistente Schlussketten).

Первый источник ошибок мы выясним на примере. Сбросы, т. е. смещения первоначального залегания пластов, в теории Гете не нашли себе места. Но уже и в те времена были известны места, где целый комплекс пластов соприкасался непосредственно по вертикальной плоскости с другими породами. В таких случаях здесь давалось совсем ошибочное объяснение, которое впрочем было совершенно последовательно. Были например известны места, где мансфельдские битуминозные медистые сланцы были отделены вертикальной трещиной от более глуболежащей свиты пластов так называемого мертвого красного лежа (Rotliegendes)¹. Так как эта трещина была заполнена рудой, то ее принимали всегда за нормальное продолжение круто поставленной свиты медистых сланцев и много над ней не задумывались.

Но уже Фойгт (Voigt) заметил, что эти жилы продолжались в толщу подстилающих пластов, что теоретически совершенно невозможно было объяснить. Этот факт был прочно установлен, но ему в дальнейшем не было уделено внимания, как явлению, пока еще необъяснимому.

Несомненно в таких случаях с психологической точки зрения играет большую роль склонность мыслить привычным образом. Мы не должны льстить себя мыслью, что нам чужды подобные ошибки. При взгляде на Альпы, господствовавшим до возникновения теории покровов, по которому все породы считались залегаящими на месте их образования, появление «утесов» (Klippen), т. е. явление перекрытия более древними породами более молодых, было необъяснимо. Только теория покровов дала объяснение этому явлению, отрицая старые гипотезы, показав в то же время, что утесы играют роль краеугольного камня для новых теоретических построений. Пермский ледниковый период, который был указан как одновременный для Индии, Южной Африки и Того², является подобной же проблемой, так как, если один из этих районов делал у полюса, то какой-нибудь из двух остальных должен был находиться у экватора, где никакого ледникового периода быть не могло. Здесь мы находим в нашем построении еще неразработанные места, которые сегодня кажутся еще необъяснимыми, а в будущем может быть также послужат основанием для новых и более правильных гипотез. Как раз пермские ледниковые эпохи сыграли роль краеугольного камня для вегенеровской теории перемещения материков.

Новое истолкование установленных явлений (Die Umdeutung des Befundes) может быть одно из наиболее рискованных логических средств исследования. Приведу этому пример. По теории Гете кристаллизационная сила должна была уменьшаться в серии пород по мере подъема вверх. За гранитом вверх следовал порфир, который имеет еще ясную трещиноватость, что по теории Гете свойственно кристаллическому строению, а затем располагались механические осадочные

¹ Мансфельдские медистые сланцы относятся к верхнепермским отложениям, а мертвый красный лежень — к нижнепермским отложениям Германии. *Прим. ред.*

² Западная Африка.

породы. Но впоследствии между гранитом и порфиром были обнаружены конгломераты мертвого красного лезня, составные части которых были тогда же признаны продуктами окатывания. Этот факт не согласовался с теорией; он указывал на понижение и оживление вновь силы кристаллизации. Тогда этому явлению было дано другое истолкование, и вопреки всякой очевидности галька была признана образовавшейся путем кристаллизации. Земпер вполне прав, говоря, что этот метод почти всегда непригоден, так как здесь, в угоду теории, т. е. отвлеченным, далеким от действительности понятием, дается новое толкование выводам, основывающимся на фактах. Но и в настоящее время мы иногда прибегаем к этому способу. Мне хочется опять сделать ссылку на теорию покровов. Когда некоторые геологи — знатоки Альп — истолковывают при помощи сложных вспомогательных теорий ясные указания на движения в Альпах с востока в пользу общей теории движения с юга на север, то это можно уже с чисто логической точки зрения считать рискованным методом. Подобные же случаи встречаются в палеонтологии, где например в угоду теории неумножаемости видов (*die Theorie des Nichtaussterbens*) насилуются установленные факты сравнительной анатомии.

Что касается выводов, служащих как бы связующим мостом (*Ueberbrückungsschlüsse*), или несостоятельной цепи заключения (*inkonsistente Schlussketten*), то их вряд ли можно совсем избежать; однако их следует стараться довести до минимума. Здесь подразумевается следующий метод. Предположим, что на основании ряда фактических данных я прихожу к известному заключению, а на основании другого ряда данных я получаю вывод, который противоречит первому. Связь между обоими выводами будет несостоятельной и основывается на связующем заключении (*Ueberbrückungsschluss*). При этом обычно ссылаемся на неизвестные нам силы природы. Например, основываясь на астрономических данных, я определяю удельный вес земли равным 5,52 и заключаю на этом основании, что земля имеет весьма тяжелое ядро. Распространение же волн землетрясений указывает, с другой стороны, что упругость земли в среднем вдвое больше, чем упругость стали. Если я на этом основании допущу, что земля имеет железное ядро, то такой вывод будет состоятельным (*konsistent*), так как обе цепи заключений не противоречат друг другу. Если же я сделаю на основании возрастания температуры по направлению к центру земли вывод, что земля внутри газообразна, то это не согласуется с данными об ее упругости. Примирить эти два положения можно только перекинув между ними мост, в данном случае в виде постулата. Я например в этом случае принужден был бы высказать предположение, что внутри земли должно иметь место какое-то мне еще не известное состояние материи. Как уже было сказано, такие выводы несомненно рискованны, но их не всегда можно избежать, особенно в геологии, где мы имеем дело с фактами, не доступными проверке экспериментальным путем. В силу этого мы не должны совсем отказываться от подобных выводов; мы должны только рассматривать их как рабочие гипотезы, учитывая это все время и отдавая себе постоянно отчет в том, что это является слабым местом в нашем мысленном построении, которое со временем должно быть устранено изменением цепи заключений и первичных основных понятий.

При этом мы подходим к последнему пункту, которого я еще хотел здесь коснуться: к целям нашей науки. Земпер дает правильную формулировку, говоря, что последняя логическая цель заключается в увязке (достижении согласованности) (Konsistenz) всех выводов как в пределах отдельных дисциплин, так и в связи с другими отраслями науки. Теоретическое построение, в котором нет никаких натяжек, никаких необъясненных фактов, соответствовало бы доведенной до конечного завершения науке. Наши современные теории являются только более или менее грубыми приближениями к такому состоянию. Они должны в будущем быть отвергнуты, когда будет возможно согласовать расхождения, когда будут выработаны более ясные и более определенные основные понятия, когда будут встречены новые факты, которые потребуют нового толкования ранее сделанных выводов. Но все-таки эти теории не лишены ценности, так как человеческий дух требует обобщающей схематизации для понимания действительности. Необходимо оценка фактов с точки зрения существенного и несущественного, иначе будет создан не космос, а хаос. Еще недавно такое положение было в палеонтологии, так как ее бесчисленные описания видов, которые могли быть различимы друг от друга только по мельчайшим деталям, не связанные каким-либо обогащающим принципом, позволяющим их объяснить, представляли совершенно беспорядочную картину.

Вследствие этого неизбежно приходится по мере надобности разрушать созданные ранее построения; но здесь не должно быть места большой нетерпимости благодаря той особенности, что многие теории не исчезают бесследно, но как бы возвращаются снова на более высокой ступени развития. Так было например с теорией горообразования Л. фон-Буха, который принимал, что все горы представляют собой поднятия под действием вулканических сил. Когда были основательно изучены юрские и другие горы, то вскоре выяснилось, что подобное объяснение не удовлетворяет, что для того, чтобы произошло образование складок, требовалось не только давление снизу, но также и сильное давление сбоку. Тогда обратились к теории сжатия земли, а впоследствии к теории покровов, которая как бы должна была доказать высшую степень контракции; однако при этом были снова подорваны предпосылки самой контракционной теории, так как ископаемые движения, которые требовались теорией покровов, оказались несовместимы со сжатием. Но вследствие того, что эти движения были доказаны с помощью выводов, не расходящихся с фактами, основанных на непосредственном наблюдении, то отрицать это явление было нельзя. Допущение такого отрицания было бы равносильно недопустимому перетолковыванию признанного положения, так что теперь приходится опять отказываться от теории сжатия и снова прибегать к теориям глубинных движений, течений и кристаллизационных изменений магмы, т. е. возвращаться к вулканическим процессам, чтобы дать хоть сколько-нибудь удовлетворительное объяснение, освещающее явления горообразования. Таким образом мы идем по спирали и возвращаемся к теории Л. фон-Буха, но уже на более высокой ступени познания. Отношение современной теории поднятий к ее физико-химическим предпосылкам уже не кажется более неясным: наоборот, она определенно на них базируется.

Установить правильные предпосылки и объяснить все факты логически увязанными выводами является, по словам Земпера, целью науки. Геология не может требовать, чтобы это могло быть сделано при помощи одной универсальной гипотезы в виде простой и краткой формулы. Ведь она опирается на основные законы естествознания, физики и химии; последние дают основные факты или, выражаясь языком Гете, «первичные явления» (Urphephenome), которые не требуют дальнейших толкований и из которых исходит закономерное объяснение внешнего мира. Только они могут быть сформулированными просто.

Геологическая теория, когда она выкристаллизовывается в краткую универсальную формулу, всегда подвергается опасности законстеть в схематизме в ущерб фактам. Она должна стараться сохранить свою эластичность и дать доступ новым комплексам фактов. Как раз история геологии и показывает нам, куда ведут косные универсальные гипотезы непутистов и плутонистов. Нам нужна не геогения с геогностическими объяснениями, но геогнозия с генетическим обоснованием, как говорил еще 50 лет тому назад Фогельзанг. Но для того, чтобы осознать это, чтобы правильно оценить значение гипотез, иногда полезен с точки зрения методологии исторический взгляд на вещи.

Для этого нет необходимости создавать новую науку. Геология еще слишком молода и богата внутренними возможностями развития, для того чтобы нужно было рыться в пыльных актах ее прошлого.

По временам, когда приходится стоять на перепутьи, когда рушатся основные представления, бывает полезна критическая самопроверка. Как раз сейчас некоторые естественные науки стоят на таком перепутьи. Теория относительности в физике, разложение атомов в химии могут служить тому примером. В биологических науках некоторые эксперименты над наследственностью вызвали сомнение в некоторых основных положениях дарвинизма и теории эволюции. В самой геологии мы также сталкиваемся с некоторыми неясностями при объяснении более глубоких причин горообразования, чего мы не находим в старых теориях.

При этом мы можем учиться и на хороших и на дурных примерах у прежних поколений, так как и им случалось стоять на перепутьи. В общем история учит нас прежде всего необходимости тщательной проверки гипотез, на которые следует смотреть лишь как на вспомогательные представления (Rastvorstellungen), а не как на конечную истину.

Истолкование документов

Основы геологического исследования источников

Материалом, на основании которого геолог делает свои выводы, являются горные породы, а именно: их состав и пространственные взаимоотношения или их залегание. Прямому наблюдению подлежит сама порода с ее неорганическими и органическими включениями; косвенно по последним можно сделать выводы о способе и времени образования пород, а также о тех изменениях, которым они подверглись после образования: в конечном счете выводы делаются здесь опять на основании логического ряда умозаключений, исходя из географических и физико-химических условий, а также общих закономерностей развития земли.

Самый процесс образования как таковой редко подлежит непосредственному наблюдению, как уже отмечалось во введении, так как он растягивается на периоды времени, выходящие за пределы возможной продолжительности наблюдения, и протекает кроме того в условиях, не подлежащих проверке с помощью эксперимента. Поэтому процесс этот может быть только вновь восстановлен (реконструирован) путем сравнения видимого в наше время состояния пород с тем первоначальным их состоянием, в котором они находились до или во время их образования.

Современное состояние мы видим непосредственно, первоначальное же устанавливается, разумеется, с помощью дедукции, логическая правильность которой должна быть хорошо проверена.

При этом надо резко разграничивать самый процесс образования породы от последующих изменений. Последние, т. е. диагенез, или затвердевание при нормальных условиях, и метаморфизм, или перекристаллизация при более высоком давлении и высоких температурах, мы рассмотрим немного позже. Для исследования образования пород мы имеем два исходных пункта: сравнение с наблюдающимся в наше время образованием пород и основные физико-химические данные. Оба пути предполагают, что все химические, физические и географические условия, которые известны сейчас, сохраняли вполне свое значение и в момент образования пород. На этой основной аксиоме актуализма должны в конечном счете основываться все цепи выводов. В сущности, когда утверждают, что все действующие в настоящее время законы гравитации, механики и химического сродства были справедливы и раньше и что одинаковые конечные продукты получались в результате одинакового процесса развития, то для этого должны существовать логически вполне допустимые предпосылки. Поскольку речь идет о породах, образовавшихся на поверхности в условиях, видимых нами и сейчас, воспроизведение

первоначального состояния может быть сделано с логической точки зрения безукоризненно. Напротив, при суждении об образованиях, которые по всем данным возникли внутри земной коры на недостижимой глубине, требуются вспомогательные логические и экспериментальные предпосылки.

Здесь мы подходим к первому основному различию между породами суперкрустальными¹, т. е. образовавшимися на поверхности земной коры, и интеркрустальными², т. е. затвердевшими внутри земли. К третьей группе пород, образовавшихся на поверхности и видоизменившихся внутри земной коры, мы перейдем позже.

К суперкрустальным породам относятся прежде всего осадочные породы, т. е. химические и механические осадки, образовавшиеся из первоначально растворенных в воде или рыхлых материалов на границе твердой (литосферы) и жидкой (гидросферы) среды или твердой и газообразной среды (атмосферы). Далее сюда могут быть отнесены изверженные вулканами твердые образования (бомбы, пепел и т. п.) и истекающие из вулканов и застывающие на поверхности расплавленные массы (лава). У этих пород их образование не связано с вопросом пространства, так как их верхняя граница соприкасается с жидкой или газообразной и поэтому проницаемой средой.

Иначе обстоит дело с интеркрустальными породами. Это расплавленные массы, которые затвердевают на глубине при медленно понижающейся температуре и под высоким давлением и всегда находятся внутри твердой среды. Вопрос пространства, т. е. вопрос о том, что было раньше на том месте, где они залегают сегодня, как образовалось пустое пространство, которое они заполнили, не является здесь заранее данным фактом, но представляет собою проблему, подлежащую разрешению.

Если мы хотим исследовать условия образования обеих групп пород, то мы должны прежде всего узнать последовательность их возникновения во времени; мы должны пространственное соседство или наложение друг на друга обратить в последовательность во времени, так как только таким способом устанавливаем мы временную последовательность, которая должна нам заменить невыполнимый эксперимент. В этом именно и заключается основной исторический характер геологического исследования.

Эти пространственные отношения подчиняются в обеих группах совершенно различным законам, к обоснованию которых мы и переходим.

Суперкрустальное образование пород

Основные законы залегания

За исключением небольшой группы вулканических пород, все суперкрустальные образования являются продуктами распада более

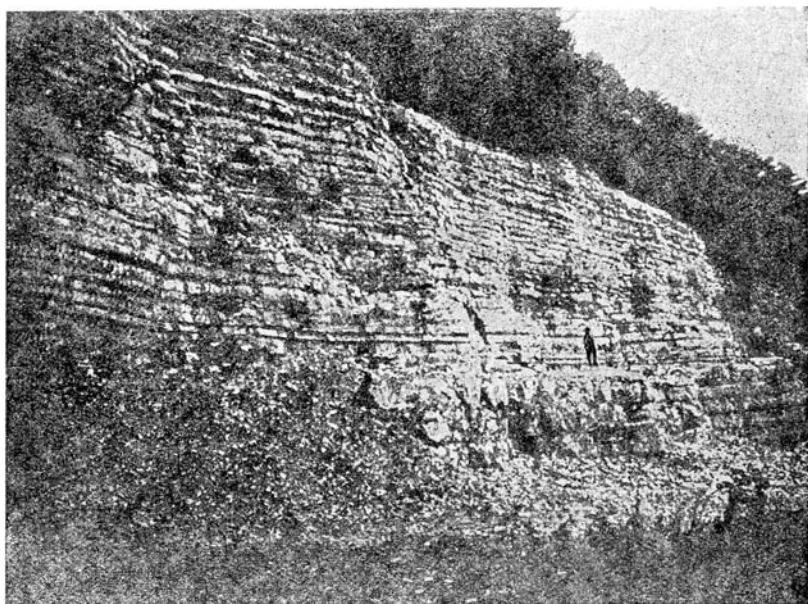
¹ Термин суперкрустальный производится от латинского слова *crusta* — кора. По-русски его можно передать как надкоровой, т. е. образовавшийся на поверхности земной коры. *Прим. ред.*

² Интеркрустальный — внутрикоровой, т. е. образовавшийся внутри земной коры. *Прим. ред.*

древних пород на границе с атмосферой. Обычно они переходят в удобоподвижное состояние, т. е. становятся рыхлыми или растворяются, затем под влиянием подвижных — жидких или газообразных — факторов (вода, ветер) переносятся и осаждаются в неподвижной жидкой среде (моря, озера).

На основании этого факта, доступного непосредственному наблюдению, можно сделать три очень важных для нас заключения.

1. Так как суперкрустальные породы или отлагаются в рыхлом состоянии внутри жидкой среды или в виде расплавленного потока (лава) текут под влиянием тяжести, то они по своим свойствам всегда более или менее сходны с жидкостью, т. е. стремятся всегда



Фиг. 1. Горизонтальные слои. Верхнеюрские известняки на Бассерберге в Швабском Альбе. Из Tornquist, Grundzüge der allgemeinen Geologie, 1916.

образовать поверхность, перпендикулярную к направлению земного притяжения. На практике это выражается следующим образом: первоначальная форма осаднения суперкрустальных пород всегда представляет более или менее горизонтальную пластину, причем приближение к идеальному горизонтальному положению зависит от степени вязкости или от внутреннего трения породы во время ее пребывания в кашецеобразном состоянии. Насыщенный водой ил легче дает идеальный случай, чем грубые пески или вязкая лава. Но и здесь отклонение от горизонтальной поверхности доходит только до нескольких градусов (см. ниже).

Дальнейшим следствием условий отложения является тот основной факт для каждого исторического исследования, что более молодые породы всегда отлагаются на более древних, а потому верти-

кальный порядок напластования пород снизу вверх является показателем их возрастной последовательности.

Поэтому первый основной закон отложения суперкрупных пород говорит, что последние отлагаются в виде горизонтальных пластов, из которых верхний всегда будет самым молодым. Там, где нарушен принцип горизонтального залегания или вертикальный возрастной порядок, мы можем сказать с уверенностью, что произошли какие-то последующие перемены в напластовании пород, отложившихся при нормальных условиях.

Исключения из этого основного закона можно сгруппировать в четыре категории.

а) Вулканические суперкрупные породы, которые извергаются из кратера или в вязко-жидком (лавы) или в затвердевшем, но рыхлом состоянии (крупные выбросы, бомбы, пеплы), будут сразу образовывать по наклонным склонам вулкана пласты, залегающие тоже наклонно, если их внутреннее трение оказывается настолько значительным, что его не может преодолеть сила тяжести. Этот случай имеет, разумеется, только местное значение.

б) Подобным же образом обстоит дело с грубыми осадочными породами (гравий, песок), которые осаждаются на наклонной плоскости в подвижной среде, как например речная галька или песок в навываемых ветром дюнах. Таким образом местами образуется первичное наклонное залегание (косая слоистость), которое часто перемежается с горизонтальным залеганием (диагональная слоистость). В случае перемены направления переноса материала часто наблюдается перекрестная слоистость. Эти явления носят также более или менее местный характер, и угол падения слоев всегда при этом мал. Для опреде-



Фиг. 2. Перекрестнослоистый песчаник. Пестрый песчаник (триас) Альпирсбаха (Шварцвальд). Из Tornquist, Grundzüge der allgemeinen Geologie.

ления условий образования породы они имеют очень большое значение (фиг. 2).

Два нижеприводимых случая относятся собственно к тому периоду времени, когда осадочные породы уже образовались, но в некотором смысле могут также рассматриваться как первичные.

в) По наклонному ложу, особенно у берега, могут сползать размягченные водой массы ила и сдавливаться в складки. Такая «складчатость» вследствие течения пород на дне или скольжения под водой ничего конечно не имеет общего с настоящей складчатостью.

г) Некоторые минералы могут, поглощая воду, значительно изменяться и при этом особенно увеличиваться в объеме; такой случай мы наблюдаем при переходе ангидрита в гипс. Увеличение объема компенсируется смятием. Это явление относится к «анорогенным», т. е. не вызывается действием горообразующих сил.

2. С каждой областью отложения связаны область разрушения и область переноса. Это значит: ни одна суперкристалльная порода не образует сплошной оболочки, охватывающей всю землю. Где-то она должна закончиться, т. е. перейти в такую область, откуда этот материал происходит, где он не отлагался в момент образования, а откуда он уносился. Вряд ли приходится говорить, что самые высокие части земной поверхности, которые особенно подвержены действию подвижной среды (вода, воздух), представляют собою области разрушения, а большие погружения, лежащие в области гидросферы, находящейся в покое (океаны, моря), являются по преимуществу областями отложения. Путь рыхлой породы следует направлению гравитационного потока (Gravitationsstrom), т. е. потока, обусловленного силой тяжести, что особенно подчеркивает В. Пенк¹.

Из этого вытекает весьма важное основное положение, позволяющее реконструировать прежние физико-географические условия, заключающиеся в том, что всегда области разрушения и новообразования пород должны были находиться рядом. Поэтому ни в одном месте на земле нельзя установить историю земли по документам образования пород без пробелов. Так как границы областей разрушения и новообразования пород колеблются, строение земной коры похоже на строение луковичи.

3. Третий важный основной факт представляют изменения условий образования отложений во времени и пространстве. Образование отложений зависит: а) от способа доставки материала, например: перекатываемые водой — галька, песок; взвешенный в воде — ил; растворенные в воде — соль, известь и т. п.; б) от длины области переноса, т. е. от расстояния между областью разрушения и областью отложения; в) от количества доставляемого материала; г) от условий движения среды и от характера бассейна, в котором образуются отложения (текучая или стоячая вода, река, озеро, мелкое или глубокое море); д) от климатических условий, которые определяют исходный материал, быстроту переноса, химический процесс выпадения из раствора и наконец состав фауны, часто принимающей огромное участие в образовании пород.

¹ Morfologische Analyse. „Geograph. Abhandl.“, 2, 1924.

Сумма физико-географических условий, которые ведут к образованию известной породы с определенным органическим содержанием, обозначается как фация, причем одинаковые фациальные условия называются изопическими, а различные — гетеропическими, независимо от их возраста. Коралловые рифы современного тропического пояса и такие же рифы, относящиеся к триасу, девону и силуру, всегда образовывались в теплых подвижных водах более мелких участков моря, при отсутствии приноса ила с суши. Их можно назвать изопическими, хотя между эпохами их образования прошли миллионы лет. Грубые массы галечника крутого берега Гельгольанда и тонкий ил морских отмелей могут быть названы гетеропическими, хотя они и образовались одновременно.

Эти примеры показывают нам, что механические и структурные свойства породы важнее для генетического исследования, чем ее химический состав. Так как механическое разрушение и растворение являются предварительным условием образования осадочных пород, то последнее состоит собственно в отсортировке веществ по их удельному весу и растворимости. Осадочные породы по своему химическому составу представляют собой очень однородные продукты смешения, и их однородность обнаруживается различными способами. В этом состоит их коренное отличие от изверженных пород, образовавшихся путем застывания расплавленной массы, для которых «химические фации» являются с генетической точки зрения чрезвычайно важными.

Фации являются причиной больших изменений суперкрустальных пород во времени и в пространстве. В пространстве эти изменения происходят обычно постепенно, так как и физико-географические условия непрерывно изменяются, преимущественно в зависимости от береговой линии. Изменение во времени обуславливает вертикальную смену в характере пород, что имеет основное значение для определения их возраста; и здесь приходилось учитывать известную непрерывность, так что мы можем утверждать вместе с И. Вальтером, что основной закон фаций состоит в следующем: только такие породы могут отлагаться одна на другой, которые возникают рядом одна с другой. Этот закон, выраженный в такой общей форме, развитый более совершенно при разработке альпийской геологии, является безусловно правильным. Во всяком случае возможности явлений, происходящих одно возле другого, должны быть точно определены.

Значение слоистости ¹

Смена фаций является также в конце концов причиной, характеризующей слоистость всех суперкрустальных пород. Если бы условия отложения все время оставались одинаковыми, то изменений в при-

¹ Исчерпывающее обсуждение этой проблемы мы находим у И. Вальтера (J. Walther. Allgemeine Paläontologie. Bd. I, Berlin, 1919).

Важны еще следующие произведения: Sempfer. Schichtung und Bankung. „Geol. Rundschau“, Bd. VII; Andréе. Wesen und Ursachen usw. der Schichtung. „Geol. Rundschau“, Bd. VI; Wepfer. Die Auslaugungsdiagenese usw. „Neues Jahrbuch f. Mineralogie usw.“ 1926. Beilageband, 54.

носе материала не было бы, и тогда должны были бы образовываться однородные, компактные массы пород. Образование суперкрустальных осадочных пород в форме всегда более или менее мощных пластов, ка ж у щ и х с я плоскопараллельными, является следствием смены фаций.

Исключением является случай, когда в породе встречаются тонко-пластинчатые минералы (слюда, серицит и т. п.), которые конечно отлагаются плоско и часто вызывают необычайно тонкую слоистость глинистых пород.

В остальном однако проблема слоистости разрешается не так просто. Ее зависимость от фаций ясна безоговорочно там, где над и под контактом пластов залегают породы различного состава. Но это бывает не только не всегда, но даже редко. Так как слоистость есть выражение изменений во времени, то следует вкратце рассмотреть различные возможности.

Слоистость может быть выражением временного перерыва отложения осадочных пород, так что каждый контакт может соответствовать периоду покоя. В известковых породах мы часто находим на контактах глинистые прослойки, которые указывают на то, что часть ранее отложенной извести может быть могла снова раствориться с обогащением остатка глинистым материалом. Такой перерыв может в свою очередь иметь различные причины своего происхождения.

Там, где это явление повторяется часто, можно думать о периодическом изменении климата. Ярким примером являются ленточные глины ледникового периода в Швеции, которые возникли благодаря размыву конечных морен (Endmoränen) тающими водами и обнаруживают чередование сотен одинаковых пластов; каждый раз при таянии снега появлялся более грубый материал (песок), при уменьшении количества воды — более тонкий материал (глина) и наконец зимою не было никаких отложений.

Это как будто бы исчерпывающее объяснение не годится там, где речь идет об отложениях, происходящих вдали от берега, в морских глубинах, где климатические изменения не могут иметь никакого влияния. Тут надо вспомнить приведенное на стр. 22 положение, гласящее, что ни один пласт породы не простирается безгранично, что где-нибудь он непременно или выклинивается или замещается другими фациями. Следовательно пласты пород, строго говоря, не совсем плоскопараллельны. Они представляют собой очень плоские линзы, которые всегда где-нибудь выклиниваются, переходят в промежуток между пластами; это значит, что отложению пласта соответствует в другом месте перерыв, смена фаций или даже снос. Таким образом каждый контакт между пластами является ценным показателем физико-географических изменений и важным вспомогательным средством исторического исследования.

Третий случай часто наблюдается в мелких водных бассейнах с водой, находящейся в движении: от времени до времени туда сносится с соседних возвышений неотсортированный материал, грубый песок и тонкий ил, что происходит сравнительно быстро. Затем его приток прекращается, но в движущейся воде ил замучивается, а зерна песка продолжают лежать спокойно. Таким образом материал посте-

пенно разделяется и образуется тонкое переслаивание грубозернистых и тонкозернистых пластов.

Это чередование может таким образом зависеть от климатического ритма с длинными или короткими периодами, но оно может также указывать на изменения глубины моря и близость берега, т. е. в конце концов на колебания морского уровня, что является наиболее распространенным случаем.

Не вдаваясь в обсуждение вопроса, обуславливаются ли подобные колебания изменением высоты суши или поднятиями и понижениями уровня моря, надо обязательно исследовать ход таких движений, причем надо обозначать совершенно нейтрально подъемы уровня воды как положительные или талассократические движения, а понижения как отрицательные или геократические.

В первом случае области эрозии частично обращаются в области отложения: разливающееся шире море отлагает свои осадки поверх более древних пород. Между новыми и более древними осадочными отложениями имеется здесь перерыв, который выражается в простейшем случае швом (спаем) между пластами. При таких условиях говорят о *трансгрессии*.

Во втором случае, наоборот, прежняя область отложения поднимается над уровнем моря. Здесь получается новый перерыв, в то время как в области моря продолжается образование отложений. В этом случае речь идет о *регрессии*.

Такой ход рассуждений в приведенной выше форме является дедуктивным и теоретическим; индуктивная его проверка целиком возможна только на основе актуалистического принципа, причем всегда надо учитывать, что мы и в настоящее время наблюдаем только *состояния*, а не *процесс* изменения, выводы о котором опираются всегда на безукоризненно логичную последовательность умозаключений. Поэтому, прежде чем делать дальнейшие выводы, надо тщательнейшим образом рассмотреть законы изменения фаций во времени и пространстве на основе современных знаний.

Смена фаций во времени и пространстве.¹

Если мы исходим из современных условий, то мы должны прежде всего разделять осадки суши и моря как отложения, образующиеся в различной среде (*изомезические* — осадки, возникшие в одинаковой среде, и *гетеромезические* — осадки, возникшие в различной среде). Континентальные осадки обычно отличаются неполнотой из-за перерывов, так как они приурочены к ограниченным бассейнам отложения, находящимся в области эрозии. Вследствие сильно изменяющихся местных условий они фациально сильно разнятся друг от друга, а вследствие неблагоприятных условий для сохранения организмов они обычно бедны ископаемыми. Только озера и обширные сильно заболоченные области, современные аналоги прежних каменноугольных образований, представляют собою некоторое

¹ Наряду с учебниками общей геологии рекомендуется: J. Walther. Einführung in die Geologie, als historische Wissenschaft. Jena, 1893—1894; E. Dacqué. Grundlagen und Methoden der Paläogeographie. Jena, 1915.

исключение. Однако неоспоримым признаком для распознавания отложений, происшедших на суше или в воде, такие критерии служить не могут, а поэтому до сих пор отнесение многих пород к той или другой группе, как например древнего красного песчаника девона (Шотландия, Европейская часть СССР), красных песчаников и глин (Германия) пермской системы и пестрых песчаников и глин (Германия) триаса, можно считать спорным¹.

Их часто рассматривали как отложения пустынь, которые образуются главным образом при участии ветра. То положение, что местами они представляют собой отложения озерные, а также отчасти образования, возникшие в широких мелких береговых зонах моря, которые могли подвергаться влиянию сухого климата, сейчас можно считать достаточно прочно установленным фактом. Здесь следует только обсудить некоторые аргументы, которые часто оказывались ошибочными, по которым легко обнаруживаются источники ошибок «актуалистической индукции»:

1. Трупы сухопутных ископаемых животных не всегда являются признаками образования отложения на суше. Их могло принести течением воды из более высоко расположенной местности и отложить в замкнутом (внутреннем) бассейне или даже в прибрежной части моря. Так образовались по толкованию Велфера скопления остатков мастодонзавров (*Mastodonsaurus*) в пестром песчанике Шварцвальда; так объясняет Помпецкий богатство рыбными остатками отложений цехштейнового моря, считая сомнительным, чтобы эти рыбы жили в море; они вероятно жили в реках. Можно таким же образом истолковывать распространение древних панцирных рыб, которые одинаково встречаются как в древнем красном песчанике, несомненно возникшем на суше, так и в морском девоне Рейнских сланцевых гор².

То же справедливо и для растений, которые могут образовать напосные или аллохтонные (т. е. происходящие из разных мест) угольные залежи, даже по берегам морей. Здесь в заблуждение может ввести смещение места обитания и места погребения.

2. Соляные отложения (каменная соль, гипс и т. п.) могут образоваться как благодаря выцветанию солей на выветрившихся породах в сухом климате, так и благодаря выпадению соли в испаряющейся морской воде, особенно в береговой полосе. Поэтому они не служат безусловными показателями среды, в которой образовались эти отложения.

3. Косая слоистость в песчаных отложениях (перекрестная и диагональная слоистость) может одинаково возникнуть как вследствие переноса песка под действием ветра (дюны), так и в текучей воде, т. е. в реках, особенно в области их устьев (образование дельт) (см. стр. 21).

4. Волноприбойные знаки (*Ripplemarks*) на поверхности песчаника правда являются всегда признаком волнообразного движения, которое возникает при движении более подвижной среды над менее подвижной (поверхность наименьшего трения — закон Гельмгольца), но

¹ Важнейшая литература: J. Walther. *Das Gesetz der Wüstenbildung*. Berlin, 1912; Passarge. *Die Kalahari*. Berlin, 1904; Sokolow. *Die Dünen*. Berlin, 1894. Soergel. *Die Ursachen der diluvialen Aufschotterung und Erosion*. Berlin, 1921.

² Помпецкий. *Das Meer des Kupferschiefers*. Leipzig, 1914; E. Warfer. *Der Buntsandstein des badischen Schwarzwaldes und seine Labyrinthodonten*. „Monogr. zur Geologie und Paläontologie“. II, 1, 1923.

это явление наблюдается в рыхлых песках пустыни так же, как и в осадках мелкой и до дна подвижной воды.

Пункты 2—4 говорят нам об одинаковом источнике ошибок: о конвергентных конечных формах различных процессов образования. Это обстоятельство надо особенно подчеркнуть потому, что его часто упускают из виду. Углубление наблюдений, и в первую очередь сочетание важнейших определяющих биологических и петрографических данных во многих случаях дало возможность в последнее время внести поправки в сделанные ранее неправильные выводы, но как раз в вопросе о различиях между отложениями суши и моря еще остается в силе момент неуверенности в правильности определений¹.

Где совершенно отсутствуют осадки, образовавшиеся на суше, где следовательно в известный период времени была область эрозии, там естественно является вопрос, можно ли считать, что в этом месте совсем не было отложения пород в течение известного периода или они отлагались, но были потом снесены. При разрешении этого вопроса нельзя избежать окольных путей для хода теоретических рассуждений. Проще всего обстоит дело, если мы находим остатки более древних пород среди более молодых, т. е. таких, которые образовались в период новой транспрессии моря. Так наличие гальки из силурийских пород (с граптолитами) в пестром песчанике указывает на то, что раньше этот район был покрыт силурийскими отложениями, разрушенными еще до триаса. Теперь от них не осталось почти ничего. В большинстве случаев мы имеем дело с гораздо более сложными явлениями, и только условия окружающих районов образования осадков (берег, мелкое озеро и т. п.) помогают нам сделать косвенный вывод.

Приведем еще пример. Если мы находим раковинный известняк (средний триас) совершенно одинакового строения к западу, востоку, югу и северу от Шварцвальда, но не видим его в самом Шварцвальде, то мы вправе допустить, что он там отлагался, но был оттуда впоследствии снесен. Если, наоборот, мы видим возле Регенбурга, что юрские пласты с приближением к Богемскому массиву получают характер прибрежных отложений, то мы можем на этом основании сделать с известной вероятностью заключение, что Богемия в юрский период была сушей.

Данная работа не ставит своей целью проследить в отдельности ход каждого мысленного построения для воспроизведения (реконструирования) прежних очертаний суши. Возможности и источники ошибок при индукции видны уже из сказанного; для ознакомления с деталями можно указать на сохраняющую вполне свое значение сводку Дакве (Dacqué)².

Для морских отложений значительно легче составить себе представление о физико-географических условиях во время образования осадков. Это происходит оттого, что и климатические изменения, особенно охватывающие короткие периоды, и движения среды уменьшаются по мере увеличения глубины, а потому пространственная

¹ Можно указать очень важный в методическом отношении, весьма интересный труд: W. Soergel. *Apediden aus dem Chirotherium Sandstein. Die Geschichte eines fossilen Tümpels.* „Paläont. Zeitschrift“, 1928.

² E. Dacqué. *Grundlagen und Methoden der Paläogeographie.* Jena, 1915.

дифференциация фаций подвержена гораздо меньшим колебаниям. Дальше следует подчеркнуть, что органические остатки лучше сохраняются в водной среде, чем в атмосфере, и что организмы очень тонко реагируют главным образом на два фактора: климат и движение. Таким образом выделение фациальных зон основывается на комбинации географических и биологических данных, которые позволяют разделить эти зоны в зависимости от близости суши и от глубины воды¹. Использование современных фактических данных, являющихся весьма ясными и определенными для объяснения прошлого, часто затрудняется тем обстоятельством, что о биологии вымерших форм не всегда можно прямо судить по биологии их современных родичей. Глубина области обитания заметно меняется даже у очень близких друг к другу видов.

Само собою разумеется, что самые большие изменения господствуют в прибрежной (литторальной) области, т. е. в том «земноводном районе» («amphibische Region») (Walther), в котором встречаются процессы, связанные с морем и с сушей. В зависимости от формы и строения берега и от силы прибоя отлагаются здесь более грубые или более тонкие продукты разрушения береговых пород. Сильные движения неблагоприятны для органической жизни и сохранения ее следов. Поэтому при сильных движениях часто царит поразительная бедность органических остатков. В иных случаях здесь встречаются формы, которые приспособляются к движению среды разными способами: присасыванием (моллюски), закапыванием (черви) или всверливанием (сверлящие моллюски). При неизменяющемся уровне воды литторальные осадки образуют только узкую кайму вдоль берега. Если уровень моря поднимается, эта кайма надвигается на сушу, а на ее прежнем месте образуются более удаленные от берега зоны и более глубоководные отложения (фиг. 4, стр. 38). Изменение уровня воды равнозначно движению фаций, которое проявляется в слоистости материала. Поэтому транспрессия является одной из причин слоистости.

Здесь надо указать на то, что при этом строго изонические породы, например прибрежные конгломераты, различны по возрасту (в разных пунктах одного и того же слоя) — факт, на который часто не обращают должного внимания, так как в этих большей частью неправильно напластованных породах, особенно при наличии пробелов в обнажениях, одинаковый состав пород дает повод к допущению их одинакового возраста.

По направлению к морю действие прибоя и движение ослабевают, соответственно с чем уменьшаются и размеры зерен материала, приносимого с суши; последний перемещается уже только во взвешенном состоянии, а не путем перекатывания. При сильной способности осаждения богатой электролитами соленой морской воды принос материала должен дойти до минимума на несколько большем расстоянии от берега даже тогда, когда другой действующий фактор — морская глубина — не слишком сильно увеличивается. Это — область мелководного моря, или неритовая зона, распространение которой

¹ Литература: J. Walther, E. Dacqué (см. выше); Andrée. Geologie des Meeresbodens. Leipzig, 1920; более коротко также у Salomon. Grundzüge der Geologie. Bd. I, II, 1925.

ограничивается каймой вокруг материков или краем шельфа, за которым идет быстрое погружение дна в глубины океана. Современные шельфы большей частью узки, но характерные признаки шельфовых отложений мы находим на больших пространствах прежнего распространения морей, так что уже по одному этому мы можем заключить о возможности происшедшего во время хода истории земли обострения различий в высотном положении суши и морского дна. Характерными чертами мелководного моря (Schelfmeer) являются с физико-географической точки зрения прежде всего небольшая глубина, которая со своей стороны допускает возможность хотя бы ослабленного движения воды, затем изменения температуры и прозрачность воды. Биологически это приводит к зарождению на дне богатой фауны, дифференцирующейся по климатическим и световым факторам. С фациальной точки зрения здесь возможны следующие крайние случаи.

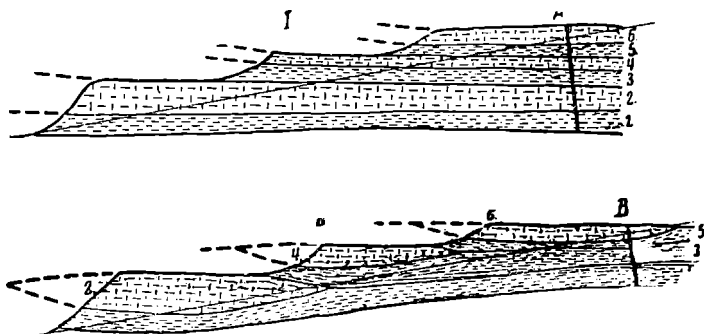
1. Имеется поступление ила с суши. Отложившиеся породы — глина и мергель. На дне живут только формы животных, которые переносят мутную воду; затем органическое население (составляется еще из взвешенных в воде (планктон) и плавающих (нектон) при жизни форм животных, которые падают на дно после смерти.

2. Нет поступления ила с суши. Так как при небольшой глубине возможна жизнь на дне, то ее продукты являются единственным источником отложения: возникают чисто органогенные известняки, в предельном случае неслоистые массы известняков, состоящие из остатков прочно прикрепленных строящих организмов (кораллы, известковые водоросли, мшанки).

Очевидно, что это противоположение должно быть справедливо и для вымерших групп животных прошлого. Поэтому при всех палеонтологических исследованиях это соображение играет всегда очень большую роль. Однако ясно, что в частности такое перенесение всегда обозначает экстраполяцию, так как некоторые факторы, как удаленность берега, точная глубина, количество и направление поступления ила, биология вымерших видов известны не наверное, и часто выводы относительно их делаются на основании фациальных условий, почему получается своего рода логический круг. Таким образом изучение фаций мелководных (шельфовых) отложений представляется необычайно благодарным, плодотворным, но на практике эта область исследований является часто богатой источниками ошибок; тем не менее эти ложные пути интересны с чисто методической точки зрения. При оценке значения этих обстоятельств для расшифровки геологических документов кое на чем следует остановиться.

Здесь также можно различать источники ошибок, связанные с факторами пространственного и временного характера, но и те и другие происходят вследствие схематизма, главным образом — от недостаточного внимания к горизонтальным изменениям фаций. Если мы встречаем рядом две гетеропитические породы, то мы невольно склоняемся признать их или различными по возрасту, но приведенными в непосредственное соприкосновение вертикальным движением, или хотя и одинаковыми по возрасту, но отложившимися в различных районах седиментации и оказавшимися в таком близком соседстве благодаря большим горизонтальным перемещениям.

Для обсуждения первого случая классическим примером являются южнотирольские доломиты. Рядом с поразительными, даже с точки зрения ландшафта, коралловыми рифами мощностью в несколько сот метров, образованными известковыми водорослями, у Шлерна, Зет-Засса, Розенгартена и т. д., лежат слоистые, не особенно мощные известняки и мергеля, часто весьма богатые ископаемыми, причем так, что рифы выступают значительно выше слоев мергеля. Сначала как бы подсказывалось толкование, что рифы представляют собой погугразрушенный, когда-то сплошной пласт, который перекрывал мергеля. Но впоследствии выяснилось, с одной стороны, что это налегание рифов на мергеля можно видеть очень редко, а с другой стороны, фауна, содержащаяся в мергелях, часто оказывалась моложе фауны рифов. Тогда пришлось признать, что



Фиг. 3. Схема возможного залегания готландских рифовых известняков: I — по Геде: проходящие насквозь известковые пласты 2, 4, 6, которые соответственно моложе, чем пласты мергелей — 1, 3, 5; II — по Ведекинду: линии рифового известняка с окружающими мергелями, частью одного с ними возраста, в которых они выклиниваются. В случае A буровая скважина пройдет через гораздо более мощную свиту, чем в случае B.

рифы поднялись впоследствии в результате какого-то сложного процесса. Только указания на горизонтальный переход рифовых известняков в мергель дали правильную картину горизонтальной смены фаций.

Другой интересный и до сих пор не объясненный пример представляет собой верхний силур Готланда. Здесь тоже наблюдаются много раз сменяющие друг друга, залегающие рядом коралловые известняки и слоистые мергеля. О тектоническом объяснении путем поднятия нечего было и думать.

Геде (Hede) указал на тот факт, что мергеля, появляющиеся по направлению с северо-запада на юго-восток, имеют изменяющуюся и все более молодую фауну. Соответственно этому он принимает, что здесь имеется вертикальную перемежающееся залегание (Wechselageung) рифового известняка и мергеля с общим падением к юго-востоку. Общая мощность всей толщи по его мнению должна достигать 500—600 м (фиг. 3, вверху).

Ведекинд же пытался доказать, что коралловая фауна одинакова в налегающих будто бы друг на друга рифах и что следовательно в

пределах коралловых рифов не наблюдается ощутительной разницы в возрасте. Само собой разумеется, что это противоречие можно было бы устранить допущением, что коралловая фауна меняется не так быстро, как фауна мергелей, состоящая из гастропод, брахиопод и т. п. Но справедливость положения, высказанного Гаде, можно было бы проверить только заложением буровых, которые бы показали, повторяется ли во многих местах на острове чередование рифового известняка и мергеля и что остальные пласты следовательно проходят насквозь. Пока приходится считаться с возможностью, что рифовые известняки выклиниваются по направлению с северо-запада на юго-восток и замещаются каждый раз все на более высоком уровне новыми, несколько более молодыми толщами известняков. В этом случае вместо проходящих насквозь пластов мы будем иметь только перемещение фаций (фиг. 3, внизу). Общая мощность в таком случае была бы гораздо меньше.

Эта же проблема встает по отношению к девонским рифовым известнякам в районе Рейнских сланцевых гор. Там мы встречаемся с залуднениями, связанными с распределением явлений во времени.

Основная мысль при изменении фаций внутри неритовой зоны может быть развита следующим образом.

Формы, образующие рифы, связаны с прозрачной водой и сравнительно небольшой глубиной (для кораллов около 80 м). Они будут селиться там, где глубина невелика и нет ила, т. е. на неглубоких местах морского шельфа, а затем будут расти вверх до уровня моря. Позднее рост рифов возможен только тогда, когда морское дно погружается или уровень моря поднимается, что совершенно основательно принимал еще Дарвин для объяснения рифовых известняков мощностью в несколько сот метров.

Но при равномерном погружении возможны два случая:

1. Рост рифов, следовательно органическая седиментация, происходит быстрее, чем окружающее отложение ила; разница в высоте все усиливается, и наконец известковый столб высоко возносится над одновременно с ним образовавшимися отложениями ила, причем однако наблюдаются взаимные боковые переходы, которые впоследствии часто бывают разрушены сносом. Это как раз случай, наблюдаемый среди южнотирольских доломитов, а также, только в меньшем масштабе, — на Готланде.

2. Органический рост на небольших глубинах идет медленнее, чем поступление ила в окружающих впадинах; благодаря этому первоначальная разница в высоте выравнивается. В результате получается не особенно мощная фация приподнятых участков дна (*Schwellenfazies*) рядом с мощной глинистой фацией впадин (*Beckenfazies*). В девонских и каменноугольных отложениях Рейнских сланцевых гор, Гарца и Польских гор (*Mittelgebirge*) эти противоположные случаи в последнее время ясно указаны Соболевым, Шмидтом и другими, что сильно способствовало объяснению первоначально малопонятного факта залегания рядом гетерогенных пород одного и того же возраста с совершенно разной фауной. Очевидно таким путем теперь может разрешиться старая спорная проблема относительно «герцина» — известковой фации нижнего девона в Богемии, в Гарце, близ Малде-

бурга, наряду с песчано-глинистой фацией в районе Рейнских сланцевых гор.

Впадины и выступы на морском дне могут представлять собой или остатки поверхностного рельефа погружившейся в море суши или могут образоваться заново во время отложения. В первом случае разница постепенно сглаживается при образовании отложений. Может быть в Гарце именно это и произошло? Там поясообразное расположение фациальных областей может зависеть от различий в высотах, оставшихся от более древней, «каледонской» эпохи горобразования.

Во втором случае при известных обстоятельствах на протяжении целых геологических периодов будет наблюдаться резкая противоположность фаций в одинаковых местах. Это — возможность, о которой часто поднимается вопрос при изучении альпийской геологии; обсуждение ее приводит нас снова к вышеприведенному толкованию проблемы пространственного распределения фаций.

В Альпах мы часто находим при очень запутанных условиях залегания, о которых мы будем еще говорить далее, такие породы, залегающие и рядом и поверх друг друга, которые повидимому противоречат вышеприведенному закону о вертикальном и горизонтальном постоянстве фаций. Триас в «утесах» (Klippen) Иберга, Штансергорна и т. п. у Фирвальдштетского озера соответствует со своими мощными массами рифов триасу южных Альп и сильно отличается от триасовых отложений, развитых вокруг. Юра и мел обнаруживают другие, но не менее яркие различия. Так как при объяснении этого факта невозможно сослаться на различия во времени вследствие того, что часто залегающие рядом гетеропические породы относятся к одному периоду, исследователи обратились к пространственному объяснению: породы, отличающиеся по своему характеру, были перемещены в горизонтальном направлении из другой области отложения горосбразующими движениями; они не автохтонны, т. е. возникли не там, где они находятся.

Если мы все неавтохтонные породы, которые фациально соответствуют друг другу, нанесем на теоретической карте, соответствующей указанному для Альп движению с юга на север, возвратив их в предполагаемые области отложения на юге, мы получим строгое распределение фаций по зонам с севера на юг, которое кажется гораздо более вероятным, чем современная картина калейдоскопической смены фаций в «шахматном порядке».

Там, где мы точно знаем условия залегания и процессы движения после осадкообразования и где имеются фациальные переходы, этот метод несомненно убедителен. Арнольд Гейм (A. Heim) например безукоризненно реконструировал подобным приемом своеобразного «развертывания» («Abwicklung») палеогеографию восточношвейцарского мелового моря¹. В Валлийских Альпах Арган (Argand) показал при помощи подобного же метода, что до образования складчатости в юрском море этого района имелись впадины и выпуклости, причем из последних впоследствии образовались ядра (лбы) опромных склад-

¹ Monographie der Churfürsten-Mattstockgruppe. Beitr. z. geol. Karte der Schweiz XX, 1910—1916; Über Abwicklung und Fazieszusammenhang in den Decken der nördl. Schweizer Alpen, Vierteljahrsschrift naturf. Ges. Zürich, 1916.

чатых покровов (Ueberfaltungsmassen) см. ниже).¹ Таким образом мы здесь имеем как бы такой случай, когда впадины и выпуклости продолжают образовываться во время формирования складок. Эта мысль представляет явное отступление от признания безусловной правильности распределения фаций, но зато ставит смену фаций в закономерное отношение к процессам горообразования. Это приблизительно можно формулировать следующим постулатом: фации изменяются соответственно с движениями земной коры.

Хотя эта мысль и оказалась продуктивной при разрешении вопроса в чрезвычайно сложных альпийских условиях, все-таки нельзя закрывать глаза на заключающиеся в ней логические источники ошибок.

Если мы высказываем положение, что все изопические породы относятся к одному району отложения, т. е. к одной единообразно перемещенной массе породы, то воспроизведение первоначальной картины с правильно расположенными зонами фаций является логическим следствием этой предпосылки, а не результатом непосредственного наблюдения. Признание разделения фаций впадин и выпуклостей в случае Альп, а также и вероятность многократного повторения фаций с севера на юг вносят уже остожения в этот ход мыслей. Ведь представление о правильной смене фаций с севера на юг, т. е. в направлении альпийских движений, будет безусловно верным только там, где видны переходы фаций, а движение его, направление и размеры установлены независимо от этого. Если это движение точно не установлено, то перед нами возникает опасность сделать вывод об единстве направления движения, исходя из современного распределения фаций, а на этом основании затем доказывать замечательную закономерность в первоначальном распределении фаций в районе отложения. В этом случае получается настоящий логический круг заключений, или, по выражению известного зоолога Вейсмана, «сундучная теория» («Koffertheorie»), из которой извлекают только то, что сами в нее вложили.

Опасность этого логического круга при изучении некоторых частей Альп является острой, потому что например на границе восточных и западных Альп направление движения точно не установлено, и предполагаемое направление, которое ориентируется точно с юга на север, намечается только на основании современного распределения фаций, распределение же отдельных фаций тоже наносится чисто схематически с запада на восток, параллельно протяжению Альп. Если первоначальное распределение фаций было более сложным, если например некоторые фациальные районы прерывались с запада на восток, а самое движение не было непременно перпендикулярным к границам фаций, то хотя выяснение запутанной картины распределения фаций и усложняется, но в этом случае не предъясняется к фантазии таких сверхчеловеческих требований, какие предъясняют для своего понимания некоторые профили Альп.

Так например Р. Штауб² на своей большой синтетической карте

¹ Sur l'âge des Alpes occidentales, Ecl. géol. helvet., 1916.

² Über Faziesverteilung und Orogenese in den südöstlichen Schweizer Alpen. Beitrag z. geol. Karte d. Schweiz, 46, 1917; der Bau Der Alpen. Там же, 24, 1927.

Альпы просто перенес на все восточные Альпы фациальные зоны и движения масс, видимые в Швейцарии. Полученная таким образом картина стереометрически проста, но она уже и сейчас обнаруживает свою крайнюю схематичность. Исследования фаций, произведенные М. Рихтером (M. Richter) в третичных отложениях северных Альп, и исследования Кокеля (Koskel) и других по фациям меловых отложений там же показали, что здесь границы фаций и границы передвинутых масс не совпадают, что некоторые зоны западных Альп отсутствовали здесь с самого начала, а потому размеры движения с юга на север могли быть существенно меньшими, чем принимал Р. Штауб.

Логический анализ пространственной проблемы распределения фаций ведет к следующему выводу: распределение фаций впадин и выпуклостей и направление горообразовательных движений должны рассматриваться как две независимые друг от друга проблемы. Закономерная их связь мыслима и во многих случаях была прямо доказана, но такое доказательство должно опираться на данные, полученные независимо по обоим вопросам; в случае же априорного допущения закономерности явно получается логический круг.

Переходя к отложениям глубокого моря, мы должны напомнить, что в современной океанологии принято различать эупелагические отложения (отложения открытого моря) и собственно глубинные образования. Обыкновенно говорят о батимальных и абиссальных осадках. Общим для них является недостаток света и движения как следствие большой глубины, а также незначительность приносимых с суши отложений и выровненность температурных условий. Отсюда биологическое следствие: бедность или полное отсутствие живущей на дне фауны (именно вследствие отсутствия света), а потому присутствие в отложениях остатков взвешенных в воде или плавающих организмов, т. е. дно является здесь местом погребения, а не жизни.

Различия между батимальными и абиссальными отложениями труднее точно установить. В общем эупелагическая область выявляет некоторые переходы к более глубокой части неритовой зоны, но отличается большей однородностью, меньшим богатством ископаемых и пониженным влиянием суши. Но известная фациальная дифференциация здесь все-таки возможна. Сюда несомненно могут быть отнесены более глубокие части внутренних морей, как например Черного, где образуются однако особые осадки, а именно: черный ил, богатый разлагающимися органическими веществами и сероводородом, возникающим вследствие затрудненной циркуляции кислорода.

В противоположность абиссальной зоне в собственно эупелагических областях бросается в глаза богатство известью (глобигеритиновый ил); это следствие того факта, что углекислая известь растворяется в холодной воде. Так как температура глубин мирового океана только немногим выше нуля, то там будут растворяться все известковые тела, погружающиеся на дно, и конечно прежде всего раковинки взвешенных в воде животных; последние следовательно могут сохраниться только на несколько меньшей глубине.

В настоящем глубоком море может наоборот отложиться только небольшое количество осадков (влияние суши минимально); из скелетов животных там останутся сохраненными только те, которые не со-

стоят из извести; это прежде всего кремнистые скелеты радиолярий (одиночные животные с кремнистым скелетом). Кроме того материал доставляется еще вулканическими извержениями, происходящими на морском дне. Таким образом отложения глубоких морей обычно очень однообразны: преобладает красная глина и кремнистый радиоляриевый ил.

Различия современных морских областей должны конечно класться в основу разделения морских отложений, имевших место в прошлом. Очевидно, что это сравнение не всегда можно провести и конечно оно не может быть сделано с точностью до одного метра, так как для многих отложений мы не знаем современных эквивалентов, что объясняется тем, что древние отложения впоследствии подвергались многим изменениям, а самые ярые показатели для фаций — животные — принадлежат к вымершим видам. Породы, богатые кораллами или другими родственными им формами, мы можем большей частью почти наверняка причислить к неритовым. Прибрежные (литторальные) породы можно тоже узнать по грубой зернистости отложений или по следам сильного движения воды. Распознать батимальные породы уже труднее. Назовем например обычный писчий мел. Некоторые рассматривают его как батимальный осадок, аналогичный современному глобигериновому илу, другие же считают его фацией мелководного моря. За первое толкование говорят некоторые наблюдения над русским пишущим мелом, пространственные условия отложения которого установил А. Д. Архангельский. Здесь мел отлагался в средних частях бассейна, а по краям он сменялся глинами и далее песками. Во всех трех фациальных областях мы встречаем фораминиферы (т. е. одноклеточные простейшие животные с известковой раковинкой), но богатство видами различно; в песках оно незначительно, в глинах увеличивается, а в мелу опять уменьшается. Это вполне соответствует распределению фораминифер в современных морях, которое точно так же изменяется с глубиной. На этом основании А. Д. Архангельский высчитывает, что глубина отложений мела должна быть примерно равной 1 100 м. Впрочем против этого можно возразить, указав например, что в германском мелу встречаются устрицы с толстыми раковинами, которые свидетельствуют о сильном движении воды. Мы видим следовательно, что биологические указания часто бывают противоречивы и не дают абсолютной уверенности.

Еще труднее условия определения абиссальных осадков, т. е. отложений глубоких морей. Это происходит естественно от того, что современные глубинные отложения часто могут быть исследованы лишь очень неполно, а потому нельзя установить их точных признаков. Радиолярии, которые так часто попадают в современном мелководном илу, являются при жизни животными, взвешенными в воде. Они могут иметь распространение и в других районах отложения кроме мелководного моря. Богатство кремнекислотой вовсе не обязательно связано с кислотной органического происхождения; она может происходить из подводных вулканов, как это несомненно частично имело место в кремнистых сланцах германского нижнего карбона. Поэтому до сих пор нельзя с уверенностью сказать, имеются ли типичные глубинные образования в области доступных нашему наблюдению континентальных цоколей. Юрские радиоляриевые кремнистые сланцы в

Альпах и подобные им девонские породы на Урале (яшмы) истолковываются как глубоководные отложения. Впрочем в данном случае они не могут быть отнесены к глубоководной области морского дна, имеющей обширное простираание, так как указанные породы по краям часто непосредственно связаны с отложениями, свидетельствующими о близости суши. Эта связь между тем является аргументом, который можно истолковать двояко; по этому поводу следует привести некоторые соображения.

Вышеприведенный закон (стр. 23) корреляции фаций указывает, что только такие породы могут непосредственно напластовываться одна на другую, которые теперь встречаются рядом. В этом смысле часто в Альпах залегание по соседству прибрежных и абиссальных отложений истолковывалось как результат последующего перемещения. Ясно, что такое объяснение требует двух предпосылок: 1) так называемые абиссальные отложения рассматриваются с уверенностью как таковые; 2) исключается возможность залегания рядом береговых и глубоководных отложений.

Мы уже говорили, что первую предпосылку считать совершенно несомненной нельзя, но и вторая в этом обобщении едва ли может быть удержана. Правда, громадные пространства морских глубин современных океанов удалены от берегов. Но океаны не представляют собой симметричных резервуаров с максимальной глубиной в центре: эти максимальные глубины часто как раз располагаются по краям бассейна. Так например тихоокеанские глубинные впадины довольно закономерно расположены вдоль восточно-азиатских островных дуг. Таким образом является вполне возможным, что длинные узкие пространства в несколько тысяч метров глубины следуют по направлению берега и подвергаются влиянию уносимых с него течением продуктов, так что прибрежные и глубинные отложения непосредственно граничат друг с другом. Ведь находили же например у восточных берегов Америки наносы сплавного леса на глубине нескольких тысяч метров.

Следовательно закон фаций в общем правилен, но в каждом отдельном случае конкретное определение того, какие именно отложения могут залегать рядом, подлежит строжайшей критической проверке. В ходе дальнейшего исследования мы будем еще говорить о геосинклиналях, областях отложения, в которых является вполне возможным кажущееся парадоксальным соседство различных типов фаций. Основным и руководящим положением при всех суждениях о фациях должно оставаться то, что на характер осадкообразования в море влияют два фактора: глубина моря и удаленность от суши. Каждое вертикальное изменение, т. е. повышение или понижение уровня моря, отражается также и в горизонтальном направлении на отодвигании назад или продвижении вперед в сторону океана береговой линии. В этом также заключается объяснение затронутой вначале проблемы слоистости, так как каждое изменение одного из названных факторов обуславливает смену фаций, которая в вертикальном направлении выразится в виде слоистости осадочных пород. Следовательно слоистость, которая обуславливается количеством и характером доставляемого материала, зависит, с одной стороны, от изменения морских глубин и близости берега, а с другой,

как мы уже упоминали вначале, от климатических условий. Эти основные факторы изменений всегда нужно иметь в виду, если мы желаем избежать неправильных заключений относительно залегающих рядом и налегающих одна на другую фациальных областей.

Суперкрустальные фации изверженных пород (эруптивов)

Здесь можно только бегло коснуться обширной области проявлений вулканизма на земной поверхности.

Истолкование застывших на поверхности изверженных пород должно, разумеется, производиться не теми методами, которыми пользуются для осадочных пород, так как первые не являются продуктами распада пород на земной поверхности, а появляются из недр земной коры. Это породы интеркрустального происхождения (расплавленные массы), но сформированные на поверхности (застывание). Они являются противоположностью кристаллических сланцев (о которых речь впереди), которые, частично по крайней мере, имеют суперкрустальное происхождение (осадочные породы), но оформились интеркрустально (метаморфизм).

Суперкрустальные изверженные породы поэтому в большей мере зависят от законов образования интеркрустальных фаций (о которых мы будем говорить ниже), особенно от законов химических фаций, с другой же стороны, в смысле залегания они подчинены законам суперкрустальных отложений. Генетически надо различать два основных типа суперкрустальных пород:

1. Расплавленный поток, изливающийся на поверхность и застывающий в виде лавы. Кроме химического состава, быстроты застывания, формы отверстий, через которые выходит расплавленное вещество (круглый канал или трещина), доминирующую роль для него играет еще окружающая на поверхности среда (вода, атмосфера).

2. Породы, застывшие во время подъема, извергнутые со взрывом, затем отложившиеся благодаря своему весу, — массы обломков, туфы, пеплы. Эти продукты еще более напоминают осадочные породы, но отличаются от них более пестрым химическим составом и ритмом слоистости, которая регулируется факторами не экзогенными (климатом, движением и т. п.), а эндогенными (извержениями).

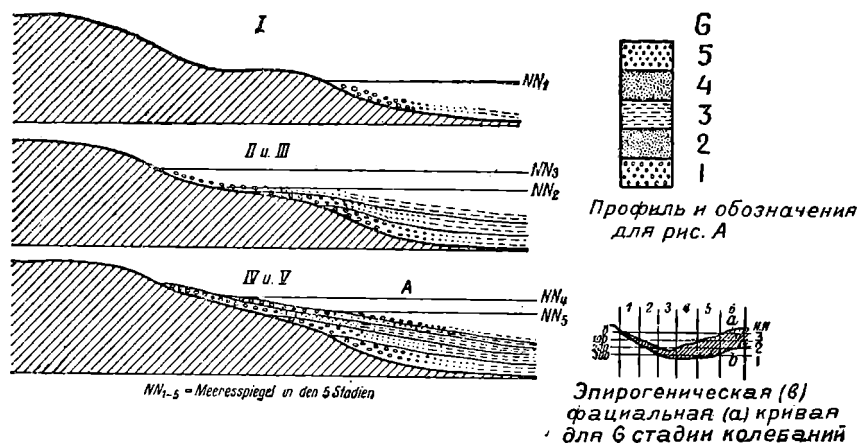
Таким образом эти геологические документы занимают промежуточное положение между суперкрустальными и интеркрустальными породами.

Суперкрустальные изменения залегания

Эпигенез

Вертикальная последовательность налегающих друг на друга пластов раскрывает для нас ход физико-географических событий. Если исходить из изменений морского уровня, не обсуждая их относительного значения, то становится очевидным, что его повышение преобразует бывшую область эрозии в область отложений и что в наступающем море все фациальные пояса (берег, мелководная зона моря, от-

крытое море) будут передвинуты в сторону суши. В вертикальном профиле это изобразится наложением друг на друга литторальных, неритовых и батиальных отложений. Эта стадия прогрессирующего затопления, во время которого вновь образовавшиеся осадочные породы надвигаются на значительно более древние, определяются как трансгрессия (см. стр. 25). Наивысшее стояние моря, т. е. наиболее сильное затопление, может быть вызвано и м м е р с и е й (Immersion). Если после этого уровень моря опять понизится или вновь образовавшийся бассейн окажется заполненным осадками, то море мелет и фациальные пояса снова отодвигаются в сторону моря. На вертикальном профиле опять появляются над батиальными отложениями неритовые, а затем и литторальные осадки. Эта стадия обозначается



Фиг. 4. Зоны отложения осадков I и перемещения при поднимающемся II и III и опускающемся IV и V уровне моря. Течение цикла видно по напластованию отложений (справа сверху). Значение кривой (справа снизу) см. стр. 41.

1 — трансгрессия, литторальные осадки; 2—4—погружение, неритовые 2, батиальные 3, неритовые осадки, 4; 5—регрессия, литторальные осадки; 6—осушение, отсутствие морских осадков.

как регрессия, а обнажение суши и обратный переход в области эрозии или в области сноса называется эмерсией (Emersion) (фиг. 4). Такой процесс в полном виде обычно называется циклом, причем следует подчеркнуть, что вторая его часть не всегда является точным обратным повторением первой. Ни один геологический процесс, строго говоря, не обратим. Наряду со случаем, когда море уходит с поверхности суши, возможен еще случай, когда морской бассейн отшнуровывается и заполняется осадками. В результате появляются в этом случае не прибрежные отложения, а образования, свойственные замкнутым морям; если же море совершенно испаряется, то образуются отложения соли.

В юрский и меловой периоды русская равнина много раз пережила первый тип развития, выразившийся в наступании и отступании моря. Свидетельством этого является многократная смена литторальных и неритовых отложений в вертикальном профиле. Другой тип процесса мы видим наоборот в верхне-пермских отложениях (цехштейн) в Германии. Море здесь наступает и отлагает конгломераты

как береговые образования; затем следуют неритовые осадки, известняки, сланцы и т. п. отложения фазы иммерсии. Затем бассейн обособляется и море начинает «испаряться», с образованием мощных соляных масс верхнего цехштейна.

Чередование трансгрессий и регрессий тянется на протяжении всей истории земли, и каждая геологическая эпоха соответствует большому циклу такого типа, который распадается на несколько, иногда чисто местных частичных циклов. Большие трансгрессии, напротив, имели мировое распространение (ордовичий — нижний силтур, средний девон, средняя юра, сенман), так что нам известны ярко выраженные талассократические и геократические периоды.

Теперь мы должны поставить вопрос о причинах этих колебаний. Чисто логически здесь имеется следующая альтернатива: или они являются колебаниями самого уровня моря, в конце концов обусловленные изменениями общей массы воды в океане, или они являются следствием поднятий и погружений суши, т. е. вертикальных движений земной коры.

Первое допущение, т. е. чисто «эвстатическую» теорию в точном смысле этого слова, вряд ли возможно применить. Хотя гипотезу многократных колебаний общей массы воды на земле и трудно непосредственно опровергнуть, но и вероятно она представляет мало. Менее значительные колебания однако возможны. Например в ледниковый период большие массы воды оказались связанными в ледяных шапках полярных областей и были вследствие этого потеряны для моря. Так как здесь речь идет о массах, имеющих мощность от 1 000 до 2 000 м и протяжение во много тысяч квадратных километров, то обусловленные этой причиной колебания поверхности воды в море на несколько десятков метров оказываются во всяком случае возможными¹.

Трансгрессии мирового масштаба и различия в глубине отдельных районов вряд ли можно объяснить этим способом; необъяснимым остается также факт, что часто в одном месте наблюдается трансгрессия, а в другом — регрессия. Таким образом невольно приходится прибегать для объяснения этих явлений к предположению о движениях твердой земной коры.

Очень характерно для развития геологических представлений, что естественные выводы о вертикальных движениях земной коры, т. е. ритмических поднятиях и погружениях, не были долго сделаны именно потому, что это представление казалось противоречащим основному постулату — сжатию земли. Ведь строго говоря, от сжатия может произойти только явление погружения. («Мы присуществуем при общем обрушении твердой земной коры» — Эдуард Зюсс). Поэтому сначала прибегли к частичному разрешению проблемы следующим рассуждением. Появление нового морского бассейна вызывает понижение уровня моря, так как масса воды благодаря этому распределяется на большую поверхность. В результате наблюдается регрессия в участках, не испытавших движений, и трансгрессия в спустившихся участках. Заполнение морского бассейна осадками опять постепенно поднимает морскую поверхность. Эта эвстатическая (от слова *eusta-*

¹ A. Penk. Glaziale Krustenbewegungen. „Sitzungsber. Preuss. Ak. d. Wissensch.“. Berlin, 1922.

sis — устойчивый) теория, которую развивает Эдуард Зюсс во втором томе своего труда *Antlitz der Erde* (Лик земли), рассматривает землю в некотором смысле как нечто прочно устойчивое и все движения относит за счет колебания морского уровня¹.

Дальнейшее более глубокое исследование истории земли доказало, что с этой теорией ничего сделать нельзя, не прибегая к маловероятным вспомогательным предположениям. Как раз исследование геологических событий недавнего прошлого выявило такие случаи, которые никак нельзя объяснить «эвстатически». В Скандинавии, в районе Средиземного моря и во многих других прибрежных местностях часто наблюдаются признаки гораздо более высокого стояния морской поверхности (следы морского прилива на скалах, террасы с остатками морских животных и т. п.), которые лежат на несколько сот метров выше современного уровня воды. При этом оказывается не только то, что они имеют различную высоту (что в иных случаях можно еще было бы объяснить несколько различным возрастом), но еще и то, что они залегают иногда наклонно, а это является указанием на колебательные движения суши и наталкивает на мысль о движениях, вызывающих подъем суши вверх. Мы приходим таким образом к заключению, что ритмичность трансгрессий и регрессий, перемещение фаций, а вместе с тем и слоистость, если она только не обусловлена климатическими условиями, гораздо сильнее зависят от вертикальных движений суши, чем от других факторов. Эти вертикальные движения, которые обращают область сноса в область отложения или наоборот, называются *эпирогенезом*, или процессами континентообразования. Можно вместе со Штилле (Stille)² указать следующие характерные черты эпирогенеза.

1. Медленная эволюция в течение больших периодов времени — вековой характер проявления. Непосредственному наблюдению эпирогенез поэтому не подлежит. Мы узнаем о нем по трансгрессии, по изменению вертикальной последовательности пластов и по вертикальной же смене фаций снизу вверх.

2. Широкое распространение эпирогенетических движений, т. е. факт, что однозначным движением охватываются большие участки земной коры. Это выражается в распространении одинаковых фаций на больших горизонтальных поверхностях.

3. Сохранение структуры. Поскольку речь идет о вертикальных движениях, условия залегания пород в пределах приводимой в движение части земли не изменяются, так как эпирогенез является общим движением масс, а не движением отдельных частей. Следовательно горизонтальные пласты сохраняют свое горизонтальное положение.

Установлением эпирогенетических движений была создана важная база для методики истории земли: вертикальный разрез пластов —

¹ Новое рассмотрение этого вопроса в свете указанной теории дает Франц Эдуард Зюсс в „*Geolog. Rundschau*“, 1920. Краткое объективное изложение дано Хёгбомом (Högbom) в учебнике Заломона (Salomon. „*Grundzüge der Geologie*“. Bd. I, Teil I, 1922).

² *Grundlagen der vergleichenden Tektonik*. Berlin, 1924. Эта работа, которая концентрирует в себе основные взгляды автора, уже высказывавшиеся им раньше, необычайно важна для понимания процессов движения земли в их историческом развитии; мы на нее еще не раз будем ссылаться.

профиль — обращается таким образом из архива документов о физико-географических состояниях в картину геологических процессов движения; цикл отложений (седиментационный цикл) становится эпирогеническим циклом. Отсюда естественно вытекает вывод, что профиль может дать нам также сведения об относительной скорости движения, причем двумя следующими способами:

1. Быстрая смена фаций, следование друг за другом литторальных, неритовых, батинальных отложений является признаком относительно быстрых эпирогенических движений; ускорение может привести к тому, что переходы в вертикальном направлении, допускаемые законом корреляции фаций, могут быть уменьшены или совсем слабо выражены. Правильный цикл, который должен рассматриваться как признак нормального эпирогенеза, может в периоды неспокойного состояния сильно изменяться. Мы увидим, что этот вид отложений в некоторых местностях указывает на начало горообразовательных движений.

2. Осадкообразование может протекать быстрее или медленнее, чем эпирогенез, в частности быстрее или медленнее процесса погружения. В первом случае уменьшается глубина моря, во втором, наоборот, море углубляется, что конечно отражается на распределении фаций. При интенсивном погружении могут следовательно быть два случая: а) погружение уравнивается отложением осадков; вследствие этого глубина моря, а вместе с тем и фации остаются без изменения, но отлагается очень мощная свита пластов; б) погружение не компенсируется отложениями; фации становятся батинальными и даже абиссальными, но мощность отложений может быть невелика.

Итак абсолютная величина движения в пределах определенного промежутка времени складывается из двух факторов:

1. Из изменения морской глубины, которое до известной степени может быть определено по смене фаций.

2. Из количества отложившихся пород, которое может быть непосредственно измерено на разрезе пластов.

Эти соотношения могут быть нагляднейшим образом изображены графически (см. также фиг. 4).

При этом исходят из системы координат, на которой по абсциссе откладывается в произвольном масштабе время, т. е. отдельные геологические системы или их подразделения, причем конечно не следует забывать, что эти единицы геологического времени относительны¹.

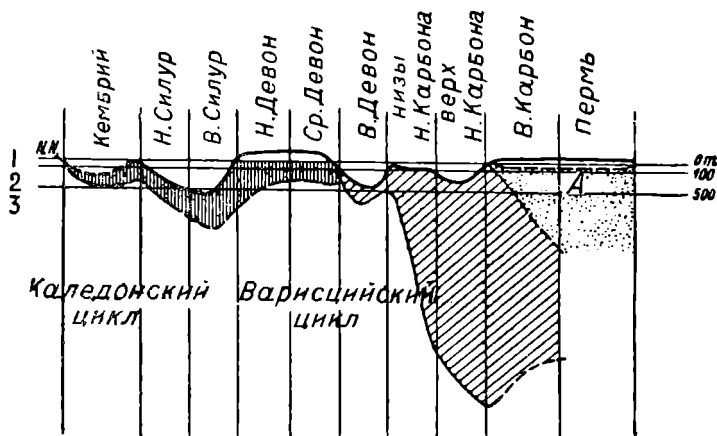
Тогда по ординатам может быть нанесено положение данной местности по отношению к уровню моря, причем можно еще выделять сушу, прибрежную зону, мелководное и глубокое море.

Такие кривые, которые, поскольку мне известно, были впервые применены Гюрихом для изображения соотношения в девоне Польских гор, дают очень наглядную картину колебаний морской поверхности и истории развития того или иного участка земной коры. Но они требуют дополнения, так как они не дают амплитуды вертикаль-

¹ В последнее время делались попытки установить связь между ними и абсолютными данными радиового метода (см. главу III), но пока еще базис для этого, разумеется, не может считаться неизбежно установленным.

ных колебаний определенной точки земной коры, а только показывают фациальные условия моря в этой точке в различное время, т. е. соотношения глубины моря или первого из вышеуказанных факторов. Что такая кривая не может считаться исчерпывающей, в особенности ясно на примере мелководного моря, в котором могут отлагаться большие массы осадков, если это место непрерывно погружается. В этом случае вышеуказанная кривая пошла бы параллельно абсциссе, на самом же деле известный пункт первоначального морского дна благодаря отложению нескольких тысяч метров осадочных пород медленно, но верно уходил в более глубокие части земной коры.

Поэтому соответственно двум компонентам движения графическое изображение эпирогенеза может иногда считаться исчерпывающим, когда указанная кривая фаций дополняется второй кривой, которая



Фиг. 5. Кривые эпирогенеза (жирные) и развития фаций (тонкие линии и черточки) в З.п. Сугетах по Бубнову: Geol. v. Eurora, I, II, 1930.

Область опусканий в области суши: 1 — литоральная зона; 2 — неритовая зона; 3 — батинальная зона.

дает мощность осадочных отложений в каждый данный отрезок времени. Эти обе кривые могут быть удобно нанесены друг под другом на одном чертеже, причем мы условно допускаем, что мелководные образования соответствуют глубине примерно 150—500 м, а батинальные образования имеют приблизительно глубину свыше 500 м. Это конечно только грубые приближения, но масштабная точность пока не может быть достигнута, а поэтому здесь в сущности речь идет только об оценке порядка величин. Ведь и мощность осадочных отложений сильно меняется, так что приходится ориентироваться только по средним величинам.

Вряд ли надо указывать, что понижающаяся кривая мощностей соответствует моментам времени, когда образовывались отложения, а восходящая кривая изображает эпохи, когда отложения подвергались сносу. Где образование осадков начинается снова и где следовательно возникает совершенно новый цикл развития, целесообразно начинать кривую опять от уровня моря, чтобы зафиксировать перерыв между отложениями обеих серий пород.

Полученная таким образом графическая картина с двумя кривыми является наглядным изображением эпирогенической истории; она выглядит совершенно различно для различных частей земной коры. Расстояние между обеими кривыми показывает нам также, что шло быстрее: погружение или осадкообразование.

Разумеется, эти кривые имеют только значение графического средства, помогающего лучшему уяснению; они смогли бы получить точный физический смысл, если бы мы принимали для отдельных систем не одинаковые отрезки времени, но могли дать на абсциссе абсолютное время. Однако дальше мы увидим, что у нас пока еще не хватает к тому предпосылок, так что нам лучше пока брать равные отрезки для подразделений времени, но при этом иметь в виду, что таким образом всегда допускается известная ошибка, а именно: более древние периоды могут оказаться сильно укороченными.

Орогенез, или горообразование

Эпирогенез, как уже сказано, определяется как медленный и длительный процесс, который имеет тенденцию к сохранению структур, так как взаимоотношения и залегание пород при нем не изменются: горизонтальные пласты пород остаются горизонтальными, даже когда они подвергаются поднятию или погружению; движение выражается только в смене фазий — в данном случае в трансгрессии — или в том факте, что значительно более молодые пласты непосредственно налегают на гораздо более древние породы, а комплексы пластов, образовавшихся в других местах в промежуточное время, отсутствуют. Так в Московской области темные глины верхней юры непосредственно налегают на «светлые известняки» каменноугольного периода; несмотря на то, что здесь отсутствуют отложения перми и триаса, здесь, повидимому, имеет место полный параллелизм, полное согласие между горизонтально залегающими глинами и известняками: повидимому, кроме подъема и погружения, здесь не было никаких других движений.

Но подобный случай можно приводить скорее как исключение, чем как правило. Очень часто мы встречаем толщи пластов, которые сильно наклонены, смяты в складки или даже изломаны и сброшены. В последнем случае одна часть первоначально сплошного слоя погрузилась и попала таким образом на уровень другого пласта, который залегает глубже, а следовательно старше по возрасту.

Основная мысль истолкования подобного положения заключается в следующем: необходимо иметь в виду основной закон залегания, т. е. учитывать тот факт, что все суперкrustальные породы всегда отлагаются горизонтальными пластами, так как этот закон является необходимым следствием гравитационного принципа и непосредственных современных наблюдений¹. Каждое отклонение от него, каждое перемещение пластов в пространстве должно быть следовательно отнесено за счет позднейших процессов и является результатом какого-то движения, имевшего место после отложения пластов. Если

¹ Здесь можно отметить лишь исключения, носящие местный характер, упомянутые на стр. 21 (первичная косая слоистость), анорогенные складки, образовавшиеся благодаря скольжению под водой (Quellfaltung, Gleitfaltung).

известно первоначальное и теперешнее положение, то направление движения может быть тем самым определено.

Современное нам положение может быть установлено с помощью составления геологической карты: поскольку формы залегания пластов пород доступны нашему непосредственному наблюдению, положение подобных пластов в пространстве может быть зафиксировано при помощи двух перпендикулярных друг к другу линий; для этого выбирают направление сильнейшего наклона — падение и перпендикулярную к нему линию пересечения пласта с горизонтальными плоскостями — простирание, направление которых по отношению к странам света устанавливается по компасу. Если мы знаем последовательность залегания пластов и их мощность, то расположение пластов на земной поверхности может быть геометрически определено и нанесено на карту. Непосредственное наблюдение дополняет и исправляет это теоретическое построение, так как оно позволяет отметить все отклонения от идеальной картины.



Фиг. 6. Определение положения в пространстве наклонных пластов при помощи двух линий. Из Штутцера (Geologisches Kartieren und Prospektieren, 1924).

Картина эта дается и в горизонтальной проекции (карта) и в вертикальном разрезе (профиль). Так как она, само собой разумеется, дается в уменьшенном и схематизированном виде, то следует всегда учи-

тывать возможность ошибок. Источники ошибок особенно важны там, где породы скрыты от глаз осыпями, растительностью и т. п. Даже самая точная, т. е. возможно менее схематизированная карта, изображающая современные геологические условия, не исключает возможности строить различные предположения для ее правильного истолкования, а вместе с тем и для реконструкции движения. Можно пожалуй сказать, что схематизация карты является одним из опаснейших источников ошибок в геологическом исследовании¹.

Источников ошибок при составлении профилей еще больше, чем при составлении карт, так как вертикальные разрезы даже в горах и то можно непосредственно наблюдать максимум до глубины нескольких сот метров. Все остальное является обычно только комбинированием и экстраполированием, которые впрочем часто достигают степени большой вероятности, но в конечном счете являются все же больше воспроизведением теоретических построений, а не самой природы.

Структурные условия и условия залегания обычно обозначаются как тектоника, и процесс, который привел пласты от их первоначального горизонтального залегания к картине современной структуры, есть процесс горообразования, или орогенез².

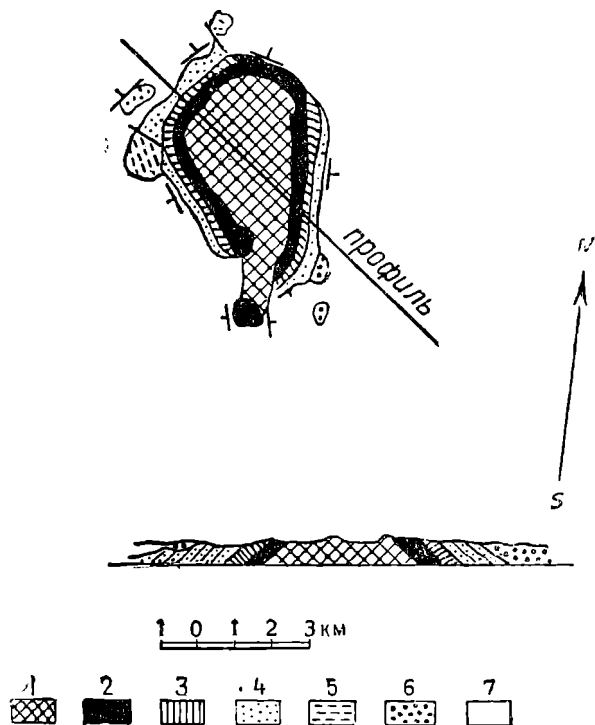
¹ Хороший обзор методов картирования дает O. Stutzer. Geolog. Kartieren und Prospektieren. Berlin, 1924.

² Основные законы орогенеза изложены в работе Штилле, которая уже цитировалась; к отдельным их деталям мы еще вернемся.

В противоположность эпирогенезу, орогенез изменяет структуру и является пространственно более ограниченным, охватывая относительно небольшие участки земной коры. То, что этот процесс к тому же ограничен во времени и является не вековым, т. е. совершается в виде относительно кратких эпизодов между периодами покоя, является в общем вероятным, но требующим дальнейшего рассмотрения постулатом. Пока можно утверждать только то, что сам процесс, как таковой, может быть прекрасно реконструирован по данному ко-
лечному положению и по первоначальному положению, установленному на основании закона залегания.

Таким образом под орогенезом, или горообразованием, подразумеваются совершающиеся в короткие промежутки времени эпизодические движения земной коры, которые изменяют первоначальное последовательное горизонтальное наложение пластов одного на другой сложным залеганием их рядом друг с другом. Можно спорить о целесообразности подобного обозначения, так как эти движения не обязательно ведут к образованию гор; последнее часто является, наоборот, позднейшим независимым актом общего обширного, а следовательно эпирогенического поднятия. А между тем это название настолько крепко укоренилось, что мы будем употреблять его в указанном смысле¹.

Характер орогенических движений различен. В одном случае мы имеем дело преимущественно с вертикальными смещениями, которые имеют результатом или увеличение наружной поверхности, как указано на фиг. 8, или ее уменьшение, как изображено на фиг. 9. В обоих



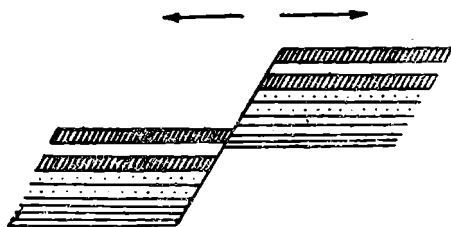
Фиг. 7. Изображение на карте наклонных пластов (вверху) и на профиле (внизу). Падение и простира-
ние даны чертой с перпендикулярной черточкой. Куполовидная складка на Индерском озере (При-
каспийский район) из кн. Bubnoff: Geologie von
Eugora, I, 1926.

1 — пермтриас; 2 — юра; 3 — воджские отложения; 4 —
нижний мел; 5 — верхний мел; 6 — неоген; 7 — четвертич-
ные отложения.

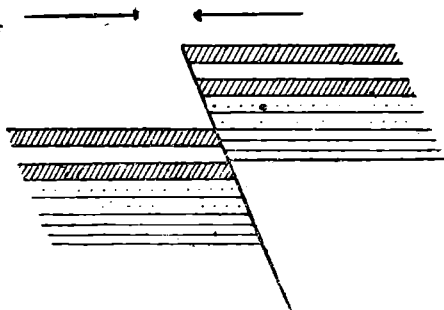
¹ Хаарман (Haarmann), который это особенно подчеркнул в своей осцилля-
ционной теории (Oszillationstheorie), предлагает поэтому название текто-
генез вместо орогенез что конечно весьма достойно внимания.

случаях изменение залегания может произойти постепенно путем изгиба или сразу путем излома. В другом случае мы видим преобладание горизонтальных движений, которые ведут к сдавливанию или образованию складок в пластах и вызывают ощутительное сокращение внешней поверхности (фиг. 10). Трудность систематизации состоит в том, что движение часто распадается на горизонтальную и вертикальную составляющие, а потому не может быть отнесено безоговорочно ни к одной из этих категорий.

Движения с преобладанием вертикальной составляющей, след-

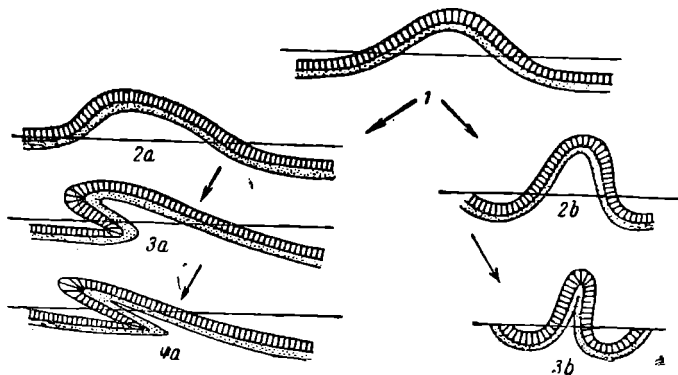


Фиг. 8. Преобладающее вертикальное движение (сброс) (*Abschiebung*, *Verwerfung*) с увеличением наружной поверхности. Стрелки дают горизонтальные составляющие движения.



Фиг. 9. Преобладающее вертикальное движение (взброс) (*Aufschiebung*) с уменьшением поверхности; стрелки указывают то же, что и на фиг. 8.

ствием которых является опускание или поднятие участков земной поверхности, легче доступны геометрическому и механическому определению.



Фиг. 10. Схема преобладающего горизонтального движения (складчатость).

2a—4a; образование несимметричной, опрокинутой и лежащей складки;
2b—3b; образование стоячей и изоклиальной складки.

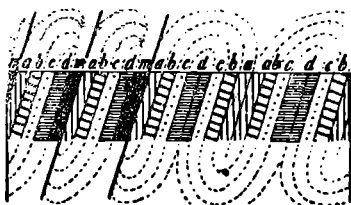
Они большей частью приурочиваются к крутым поверхностям, вдоль которых разделенные ими породы бывают разломаны или «сброшены». Эти сбросы, изображаемые на геологической карте линиями, обычно появляются более или менее параллельными сериями, заключающими в каждом отдельном случае поднятые или ступенчатые односторонне сброшенные полосы. Такие участки называют гор-

стами, прабенами или ступенчатыми сбросами. Они представляют собой простейшую, примитивнейшую картину орогенеза. Укажем, не вдаваясь в детали, в качестве примеров грабен Рейнской долины между Шварцвальдом и Вогезами, односторонне поднятый Гарц, пограничный сброс между Судетами и Силезской равниной, грабен Красного моря. Всегда в поднятых частях на поверхность выступают более древние, а в опущенных — более молодые породы. Вертикальное смещение может достигать 1—2 км.

Если даже здесь геометрическая сторона процесса затруднительна для понимания, особенно при продолжении профиля в глубину, то при преобладающих горизонтальных движениях, ведущих к сокращению земной поверхности, следы которых мы находим в горных хребтах альпийского типа, мы сталкиваемся с еще большими затруднениями.

Геометрия и механика изогнутых и разломанных пластов ставит еще и сейчас трудно разрешимые проблемы¹.

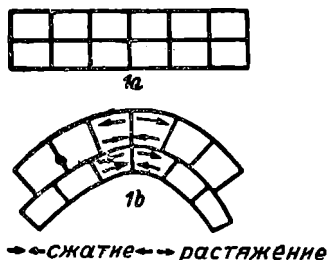
Пространственные перемещения слабо изогнутой пачки пластов можно еще без особого труда понять, хотя и здесь сокращение всех вогнутых и удлинение всех выгнутых частей (фиг. 11) вызывает неизбежно мысли о движениях на контактах пластов.



Фиг. 12. Изоклиналильные складки; складки с параллельными крыльями.

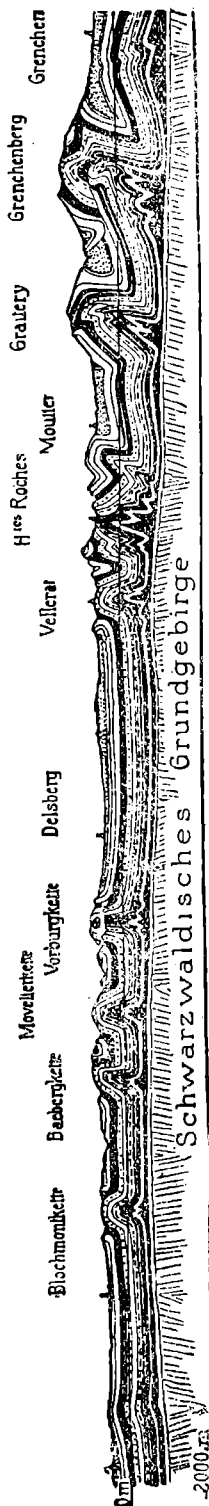
Из кн.: Sokol, Geologisches Praktikum, 1927.

Иначе обстоит дело при тесно сжатых складках с параллельными крыльями (фиг. 10, 12, 36), при так называемой изоклиналильной складчатости. Простое соображение показывает, что в этом случае более глубокие части земной коры вовсе не могут принимать участия в движении, что они или совсем не образуют складок или сминаются в складки поиную. Таким образом и здесь составление профиля требует допущений, которые не могут быть подвергнуты непосредственной проверке, а могут быть только логически обоснованы. В подобном случае складчатые комплексы пластов должны быть отделены от своего основания поверхностью разрыва. Такие «плоскости срезания» или «плоскости срыва» (Abscherungsflächen) обнаруживаются уже в горных хребтах довольно простого строения, так например в Швейцарской Юре



Фиг. 11. Механика изгиба. При образовании складок выпуклая сторона пласта растягивается (расходящиеся стрелки), согнутая же сжимается (стрелки, направленные друг к другу). Следовательно, на плоскостях соприкосновения пластов должны иметь место движения.

¹ Особенно много сделано в смысле анализа механики этих процессов австрийскими геологами, преимущественно Амферером, Геричем, Зандером и В. Шмидтом, и результаты их работ положены в основу дальнейшего изложения. Хорошую сводку мы находим у Герича (Heritsch. Grundlagen der alpinen Tektonik. Berlin, 1923).



Фиг. 13. Профиль Швейцарской Юры по Вуксторфу. Сложенные в складки пласты отделены поверхностью срыва от древних пород фундамента, которые или не смяты в складки или смяты иначе, чем вышележащие.

(фиг. 13). Они приурочены обычно к особенно пластичным, податливым пластам, например к мягким глинам, соляным и гипсовым массам, которые до известной степени «жидки», т. е. легко оттесняются туда, где возникают пустоты.

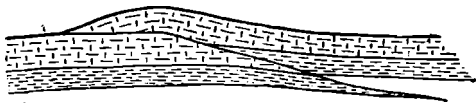
Благодаря образованию поверхностей срыва горизонтальная толща пластов разлагается на ярусы, которые дают совершенно различные картины движения: твердые известняки реагируют разломом, мягкие глины складываются в складки, выжимаются и т. п.

Сильное возрастание горизонтальных движений ведет к тому, что свита пластов где-нибудь может подвергнуться разрыву и разорванные части надвинутся друг на друга, как ледяные глыбы. При этом первоначальный порядок залегания может быть совсем нарушен: более древние пласты могут оказаться лежащими на более молодых. Но и в этом случае надо учесть свойства пластов. Мягкие пласты ломаются не так быстро; сначала образуется складка, одно крыло которой перегибается; при продолжающемся движении оно ложится, подвываясь под другое крыло (лежащая складка, фиг. 10, 4a) и при дальнейшем движении развальцовывается; но здесь необходимым условием является наличие многочисленных поверхностей пластов, чтобы в перекатывающемся (*überfahrend*), так сказать, крыле каждый контакт пластов (*Schichtfuge*) являлся поверхностью движения. Этот механизм больших лежащих складок, которые иногда надвигаются на 10 км, представляет собой господствующее явление в северных Швейцарских Альпах, поэтому его можно обозначить как гельветский тип движения.

Другую картину дают плотные, неслоистые известковые массы Баварии и Тироля. Здесь дело не дошло до образования складок: хрупкие известковые глыбы ломались и надвигались друг на друга, как льдины в реке во время половодья. Здесь имело место образование надвигов (*Ueberschiebung*), а не надвинутых складчатых покровов (*Ueberfaltung*), но в результате получилось такое же нарушение порядка напластования. Мы можем говорить здесь о баварском или восточно-альпийском характере движения (фиг. 14).

У обоих типов есть одна общая черта: в строении принимают участие только более молодые пласты пород, а более древние, подстилающие их, отсутствуют. Поэтому надвигающиеся массы должны быть отделены, отрезаны от подстилающего их основания (Unterlage) и это последнее или остается на месте (фиг. 15, I — гельветский тип) или сминается в складки по-иному (фиг. 15, II — восточно-альпийский тип).

Следовательно явление надвига в некоторых отношениях сходно с простой, но интенсивной складчатостью: образуется верхний ярус, который обнаруживает какой-то иной характер движения, чем его основание; граница между ними представляет собой поверхность движения, которая большею частью находится там, где соприкасаются породы с резко различными свойствами.



Фиг. 14. Надвиг (Überschiebung). В твердых, хрупких пластах не получается складок, но массы надвигаются друг на друга, причем более древние породы налегают на более молодые.

Все это доступно непосредственному наблюдению. Надвинутые покровы примерно в 10 км не может сейчас отрицать никто из знающих Альпы.

Здесь нельзя на основании непосредственного наблюдения ответить на невольно возникающий вопрос: что происходит в пластах, подстилающих складки; как отражается на глубине это невероятное пространственное сокращение.

Поэтому о механических причинах этих процессов мы сможем говорить только после знакомства с другой основной областью геологического исследования, а имен-

но, с вопросами о состоянии пород в недрах земной коры, т. е. о движениях под высоким давлением и при высокой температуре. Только тогда мы можем подойти ближе к геометрической загадке «глубинных ярусов» складчатости, которая встает перед нами при изучении картины альпийских движений.

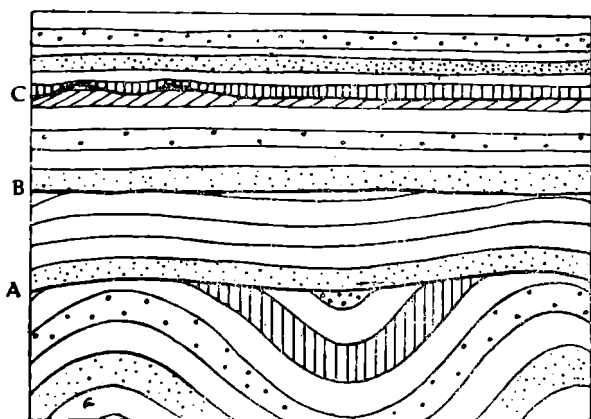
Таким образом орогенез охватывает движения с преобладанием вертикального направления (образование разломов) Bruchbildung) и с пре-

обладанием горизонтального направления (образование складок и надвигов) (Faltung und Ueburschiebung). Что они в известном смысле эпизодичны и продолжают относительно недолгое время, видно из того, что в противоположность эпирогенезу они образуются не во время, а после отложения пластов.

Если мы примем за аксиому основной закон о горизонтальности отложения пластов, что в общем является вполне допустимым, то мы

должны тогда признать, что отклонение от горизонтального положения путем перемещения или изгибания пластов должно было произойти позднее, а именно это перемещение или изгибание пластов, которое говоря, горообразование, имело место после отложения наиболее молодых, самых верхних пластов, которые принимают участие в этом перемещении. Таким образом мы устанавливаем нижнюю границу времени для орогенеза.

Но если после нарушения одной серии пластов и после выравнивания получившихся неровностей в результате разрушительной работы рек и моря последует новая трансгрессия, то более молодые пласты будут опять отлагаться горизонтально поверх смятых в складки, а затем выравненных пластов (фиг. 16). Между двумя сериями пластов — смятой и горизонтальной — образуется тогда более или менее ровная поверхность перерыва — несогласие (Discordanz),



Фиг. 16. Типы несогласного залегания в профиле: до *A* имело место более сильное образование складок; до *B* — более слабое. Около *C* уже нет почти никакого движения. Следует только указать на частичное разрушение нижележащих пластов до отложения самых верхних (эрозивное несогласие).

которое как раз и указывает на имевшее место горообразование. Образование складок и выравнивание приходится на промежуток времени между отложением самого верхнего, сложенного в складки, и самого нижнего, не смятого в складки, пластов. В этом случае последний образует верхнюю границу времени горообразования. Этот простой ход рассуждений позволяет установить точно моменты горообразования в геологической последовательности времен. О дета-

лях этого мы еще будем говорить в главе о геологическом понятии времени.

Все отклонения от основного закона залегания, т. е. 1) наклонное и вертикальное положение пластов, 2) налегание более древних пластов на более молодые, 3) налегание друг на друга и залегание рядом не соответствующих друг другу фаций, мы можем отнести на счет горообразования, т. е. изменений, происшедших после образования охваченных этими изменениями пластов. Возраст горообразования до известной степени определяется следующей по порядку группой пластов, не принимавшей участия в движениях.

Движения, происходящие в настоящее время

Здесь следует еще вкратце коснуться вопроса возможности чисто актуалистического рассмотрения движений земной коры. Путем точ-

ного нивелирования за последние годы были отмечены многочисленные, хотя по внешности и слабые смещения земной поверхности (Франция, Верхняя Бавария). Здесь мы повидимому имеем дело с непрерывными процессами, которые несомненно подчинены известной закономерности по отношению к более древним структурам. Трудно пока установить, являются ли они эпирогенического или орогенического происхождения. Эти далеко неполные данные пока еще не дают достаточных оснований для расшифровки движения и его механики.

Другим известным нам в настоящее время типом движения являются землетрясения. Для нас несомненно, что часть из них обусловлена тектоническими причинами, т. е. представляет собой, хотя и очень слабый, орогенез настоящего времени. Но изменения структуры даже при довольно сильных землетрясениях настолько минимальны, что они редко дают цельную картину движения. В последнее время производились обещающие успех попытки включить землетрясения в общую картину геологических движений¹.

Третьей областью явлений, наблюдающихся в настоящее время и имеющих гораздо более крупное значение, является вулканизм, о документах которого уже было сказано выше. Продукты вулканической деятельности после отложения могут рассматриваться как обычные осадочные породы, которые следуют всем вышеизложенным законам движения твердой земной коры. До этого, пока они находятся в расплавленном состоянии, они имеют несколько иной характер. Их механика следует законам интеркрустальной жидкой среды, которые однако проявляются на поверхности земли, т. е. как бы проектируются на поверхность. Об этих законах мы будем говорить в следующем разделе. Эта доступная непосредственному наблюдению проекция на поверхность является необычайно увлекательной проблемой, которая однако именно как проекция представляет собой «нарушение» соотношений, так что и здесь невозможно применить чисто актуалистический метод решения вопроса и необходимо опять обращаться к историческому методу при изучении вулканических процессов. Возникающий в связи с этим вопрос о механизме плавления будет поэтому рассмотрен в связи с интеркрустальными породами.

Интеркрустальные породы

Основные законы

Изверженными породами мы называем такие породы, которые возникают из расплавленной массы благодаря застыванию или кристаллизации при понижении температуры.

Эти породы имеют целиком интеркрустальное происхождение, т. е. расплавленные массы происходят из недр земли, из области высоких температур, которые не зависят от экзогенных факторов зем-

¹ Литература: E. Kayser. Allg. Geologie. 6 Aufl., 1927, S. 297; O. Reiss. Der Schollenaufbau des voralpinen Untergrundes und die neuzeitlichen Bewegungen in Oberbayern. „Geogr. Jahreshefte“, 1929; H. Cloos. Bau und Bewegung der Gebirge. „Fortachr. d. Geologie“, Bd. VII, 1928; J. Wilser. Heutige Bewegungen der Erdkruste in Oberrheingebiet. Stuttgart, 1929.

ной поверхности. Движение этих расплавленных масс, поскольку они проникают через землю к ее поверхности, направлено прямо противоположно гравитационному течению (Gravitationsstrom), т. е. течению, обусловленному силой тяжести. Уже из этого очевидно, что законы отложения суперкрусталльных пород здесь не применимы, за исключением того случая, когда расплавленный поток изливается на поверхность, там застывает и присоединяется к суперкрусталльным породам; вулканические туфы и лавы являются важнейшими представителями этой небольшой группы изверженных пород, о которых уже упоминалось на стр. 37. Однако главная их масса имеет интеркрусталльное происхождение, и самое застывание произошло внутри земной коры.

В то время как образование суперкрусталльных пород, особенно осадочных, основывается на явлениях отложения материала в спокойной среде, которые определяются законами течения, здесь играют главную роль два основных фактора:

1. Физико-химические основные законы кристаллизации и плавления.

2. Движение расплавленной массы до и во время ее застывания.

Различия между ними можно также выразить в следующей формулировке: суперкрусталльные осадочные отложения состоят из твердых составных частиц, породы же изверженные первоначально образуются в виде расплавленной массы, а самое застывание является второй фазой их образования.

Это основное различие в способе образования могло однако быть истолковано только после того, как успехи химии, физики и микроскопического исследования пород дали руководящие линии для исследовательской работы. В первых стадиях геологического исследования именно в этой области царила величайшая путаница, которая получила наиболее яркое выражение в споре между нептунистами и плутонистами. В конечном результате мы имеем здесь дело с незнанием актуалистического принципа и со смешением вопросов времени и пространства. На основании того факта, что образование интеркрусталльных пород не подлежит в наше время непосредственному наблюдению, было сделано заключение о совершенно иных условиях, имевших место в геологическом прошлом, не считаясь с возможностью существования и в нашу геологическую эпоху подобных же условий, но в областях, недоступных наблюдению. Опираясь на законы отложения суперкрусталльных пород, сделан был вывод, что все изверженные породы должны быть древними и относиться к тому времени, когда высокие температуры царили и на поверхности. Это ошибочное заключение и до сих пор еще не потеряло окончательного своего значения. Мы еще встретимся с ним при обсуждении вопроса о кристаллических сланцах.

Актуалистический подход к изверженным породам и сейчас, несмотря на возможность и даже необходимость применения точных методов физики и химии, возможен только условно. Это основывается прежде всего на двух фактах.

1. Состав этих пород очень сложен. Они состоят из многочисленных химических компонентов, между которыми возможны и, смотря по обстоятельствам, осуществляются самые разнообразные комбина-

ции. Тогда как на поверхности возможны при существующих климатических условиях в сущности комбинации только пяти элементов: кремния (Si), алюминия (Al), кальция (Ca), магния (Mg) и железа (Fe), т. е. только эти элементы образуют длительные прочные соединения с кислородом или с углекислотой, давая механические смеси, с изверженными породами дело обстоит совсем иначе. Во-первых, здесь добавляются другие элементы, прежде всего щелочи (калий и натрий) и водород, которые на поверхности содержатся в морской воде и ее солях, отдельно от других осадочных отложений. Во-вторых, при кристаллизации из расплавленной массы образуются не механические смеси, а сложные химические соединения элементов. Характер этих соединений зависит не только от состава расплавленной массы, т. е. от относительного количества в ней отдельных элементов, но также и от условий температуры и давления, имевших место при застывании. Некоторые комбинации, которые носят на поверхности стабильный характер, на глубине переходят в другие и наоборот¹. Физико-химические законы позволяют нам непосредственно устанавливать встречающиеся при известных обстоятельствах комбинации и последовательность их образования, если речь идет о двух или трех составных частях. При семи или восьми составных частях оказывается уже трудно использовать теоретические возможности. Поэтому хотя исследование этой проблемы норвежским ученым Фогтом (J. A. Fogt), исходящим из бинарной и тернарной системы (системы с двумя и тремя компонентами), явилось несомненно ценным шагом вперед в нашем познании, но и оно, в конце концов, не дало решающих данных, а дало лишь ряд аналогий, которые частично оказались ведущими к ошибочным заключениям.

Экспериментальное исследование сложных соединений является поэтому единственным способом; в частности американские исследователи, благодаря применению необычайных средств, добились большого успеха в разработке метода воспроизведения процессов образования пород.

Но и таким способом не все может быть разрешено вследствие того, что, как мы уже не раз подчеркивали, условия пространства, времени, существующие в природе, не могут быть полностью воспроизведены в лабораторном эксперименте.

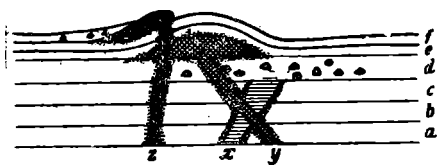
2. Второе затруднение состоит в том, что для изверженных пород, в противоположность осадочным породам, неизвестно исходное состояние перед застыванием. Расплавленная масса до застывания неизвестна нам по своему составу. Мы также не можем получить ее путем плавления интрукристалльной породы, так как процесс застывания необратим. Это основывается на том, что в первоначальной расплавленной массе — в магме, имеются летучие составные части, прежде всего газообразные соединения фтора, хлора, серы и т. п., которые улетучиваются при застывании. Правда их влияние на процесс застывания может быть теоретически вычислено, но все же практически останется всегда некоторая неуве-

¹ Прекрасное введение в эти вопросы дает книга Rinne „Die Gesteinskunde“ (Leipzig, 1928, 2. Aufl.).

ренность, благодаря невозможности точно установить количество и состав летучих составных частей магмы¹.

Если таким образом для исследования интеркрустальных пород гораздо более применимы точные методы, чем для исследования осадочных пород, для которых мы имеем много трудно учитываемых привходящих факторов, играющих роль на земной поверхности, то все же этому исследованию поставлены известные пределы. Возможность уязвки таится опять в области специфически геологической методики.

Основной закон суперкрустального залегания, как выясняется из сказанного, неприменим для интеркрустальных пород; самое их название показывает (Kruste — кора), что они перекрыты земной корой, которая таким образом представляет самый верхний, но не обязательно самый молодой элемент. Так же мало применим для этих



Фиг. 17. Залегание интеркрустальных пород.

a—f — суперкрустальные оловянные породы; *x, y, z* — интеркрустальные магматические породы. Точками отмечен контактовый метаморфизм, т. е. воздействие жара в области соприкосновения магматических пород с окружающими. Глубинные породы *x* лежат в пласте *d*, породы *z* моложе, чем породе *y*; порода *y* моложе, чем порода *x*.

большей частью несогласным: оно часто бывает пронизывающим или прорывающим, когда наблюдается проникновение их в нормальное параллельное напластование суперкрустальных пород (фиг. 17). Ясно, что это непосредственно следует из вышеприведенного факта, что образование этих пород распадается на твердую и жидкую фазы и что движение имеет место не после, а во время самого процесса застывания. Поэтому различие верха и низа не является здесь показательным для последовательности во времени; но из сказанного можно вывести и другое следствие. Ведь глубинные породы представляли собой первоначально жидкие, частично даже газообразные, расплавленные массы, которые, именно благодаря этому обстоятельству, имели возможность проникать в пустоты, трещины и швы на границе между пластами других пород и только после этого застывали. Поэтому мы можем сказать, что порода *x*, которая пересекает породы *a—b—c*, моложе их. Вторым важным пунктом является то обстоятельство, что внедряющая порода *x* имеет более высокую температуру, чем породы *a—b—c*, благодаря чему последние могут измениться (контактовый метаморфизм); таким образом устанавливается нижняя граница времени ее образования. Верхнюю границу

¹ Исследование этой проблемы см. прежде всего у P. Niggli. Die leichtflüchtigen Bestandteile des Magmas. Leipzig, 1920.

времени образования изверженной породы установить труднее. С уверенностью ее можно определить только тогда, когда внедрившаяся порода x выходит на поверхность благодаря поднятию и обнажению всего района, и когда ее куски найдены в более молодой суперкрустальной породе d . Тогда ясно, что x старше, чем d . Но эта верхняя граница выявляется с некоторой достоверностью и тогда, когда порода d налегает на породу x , но последняя не вызывает в ней существенных изменений. В этом случае мы можем сделать заключение, что порода x была уже охлаждена, когда отлагалась порода d . Поэтому порода y моложе, чем x , если она проникает через x , и моложе, чем налегающие породы $c-f$, если она вызвала в них какие-либо изменения.

Следовательно относительное определение времени для интеркрустальных пород оказывается вполне возможным, несмотря на совершенно иные законы их отложения. Таким образом мы получаем возможность установить последовательность образования пород различного химического и минералогического состава, что разрешает для нас также одну из важнейших проблем петрографии, имеющую большое значение и с геологической точки зрения.

Закон фаций здесь, как показывают два вышеприведенных пункта, также во многих отношениях отличается по своему смыслу, уже хотя бы потому, что наряду с физическими условиями окружающей среды, следовательно с влиянием глубины, играет первенствующую роль первоначальный состав расплавленного вещества и его изменения, т. е. химическая фация. При этом оказывается опять резко выраженным деление на две фазы процесса образования этих пород. Мы можем благодаря этому различать физическую и химическую фации, из которых последняя возникает до окончательного формирования породы (застывания); это формирование не является, как у осадочных пород, в конце концов всюду конвергентным процессом возможно более полного разделения смеси (Entmischung), но сложной функцией движений, имеющих место до застывания.

Последовательность застывания и структура (физическая и физико-химическая фации)

Нельзя забывать, что хотя законы отложения суперкрустальных пород не приложимы для интеркрустальных застывающих магм, но геолога интересуют те же факты, касающиеся интеркрустальных пород, что и при изучении геологических «документов» на поверхности, а именно последовательность их возникновения во времени. В данном случае последовательность застывания и условия их образования в окружающей среде, т. е. в данном случае не физико-географические, а физико-химические фации. Таким образом последовательность во времени и фации должны устанавливаться и для глубинных пород, только границы их не налегают друг на друга и не залегают рядом, а взаимно внедряются друг в друга (schachteln ineinander). В этом и состоит главное различие условий пространства и времени для этих двух групп пород, которое мы должны запомнить.

Хотя последовательный порядок выделения кристаллов из расплавленной массы с несколькими составными частями и трудно предсказать теоретически или воспроизвести его после экспериментально, все же застывшая расплавленная масса, как мы уже видели, заключает часто определенные признаки, дающие возможность установить время застывания.

Во-первых, хотя бы относительно, может быть установлена скорость застывания. Она обнаруживается в том, что мы называем структурой породы, т. е. в характере кристаллографических очертаний и в величине отдельных частиц смеси. При очень быстром падении температуры, т. е. в том случае, когда очень велик контакт между температурой расплавленной массы и окружающей среды, расплавленная масса застывает быстро, благодаря чему не имеется возможности разделения составных частей и нет заметного кристаллообразования. Образуется однородное стекловидное тело, которое в проходящем через него поляризованном свете кажется темным, значит представляет собою изотропную массу, так что проходящие через него лучи света во всех направлениях встречают одни и те же условия колебания, а следовательно не подвергаются ни поляризации, ни интерференции. Застывающие на поверхности лавы имеют, по крайней мере вскоре после застывания, подобную стекловатую структуру.

Наоборот при медленном, иногда даже «вековом» застывании расплавленной массы происходит обособление отдельных последовательно выпадающих составных частей, причем каждая из них стремится вылиться в присутствующую ей кристаллографическую форму. Отдельные минералы ограничены «идiomорфно»; порода в поляризованном свете оказывается однородной, так как лучи света, встречая на своем пути отдельные ее зерна, различно ими преломляются и поляризуются. Отсюда зернистая структура является признаком медленного застывания, а следовательно и постепенного понижения температуры.

Вряд ли надо подчеркивать, что между этими двумя крайними случаями возможны переходные стадии, т. е. тонкозернистые или скрытозернистые структуры, по которым можно тоже сделать некоторые выводы относительно быстроты застывания.

Скорость застывания является, разумеется, функцией глубины, так как падение температуры несомненно сильнее на остывшей земной поверхности, чем в непропитой интеркристалльной среде. С этой точки зрения структура также показательна для фаций. Во всяком случае эта функциональная связь не так проста и прямолинейна, так как величина зерен зависит также и от других факторов, например от степени жидкости или вязкости расплавленной массы и от содержания в ней газов. Но на этих физико-химических осложнениях мы можем здесь остановиться только вскользь.

Во время образования осадочных пород окружающие условия остаются одинаковыми; для расплавленной же массы это обстоятельство не обязательно: она может во время застывания «менять фациальную область», т. е. проникать из глубины на поверхность. От этого зависит особый случай порфировых структур, где две фациальные области (Faciesbesirke) как бы равномерно вклини-

ваются друг в друга. Застывание начинается в глубине при медленном падении температуры, так что там образуются кристаллографически правильные, т. е. идиоморфно развитые зерна, которые плавают в расплавленном потоке. Затем, если порода перемещается в другую фациальную область, например, когда расплавленная масса поднимается к поверхности земли, то остаток застывает быстро в виде тонкозернистой смеси или стекла.

Поэтому структура позволяет до известной степени установить условия образования и их смену во времени, т. е. исторический ход процесса застывания. Здесь следует обратить особое внимание на то, что в этом случае для лучшего уяснения процесса широко может быть использован эксперимент даже тогда, когда мы сознательно добиваемся получения не полного воспроизведения этого процесса, а только аналогии. Следующим вспомогательным средством для выяснения истории образования является наблюдение над последовательностью застывания.

При известном количественном соотношении химических составных частей и при постоянных условиях давления и температуры, выпадают раньше всего компоненты, имеющиеся в избытке и обладающие наименьшей растворимостью. Плава в расплавленной массе, они могут свободно разрастаться во всех направлениях и соответственно этому принимать кристаллографически правильные или идиоморфные очертания. Чем больше выпадает составных частей при возрастающем охлаждении, чем «гуще становится каша кристаллов», тем сильнее затрудняется идиоморфный рост; последние выделившиеся составные части будут уже только заполнять пространство между более ранними по своему образованию.

В зернистой гранитной породе например можно наблюдать следующую закономерную последовательность выделения:

Руды—магнитный железняк, титанистый железняк и т. п.

Темная слюда (биотит) — силикат, содержащий железо, магний и калий.

Известковый полевой шпат—плагноклаз, силикат кальция и натрия с алюминием.

Калийный полевой шпат—ортоклаз, силикат калия с алюминием.

Кварц—чистая кремнекислота.

Из всех этих составных частей смеси первые две обычно хорошо образованы, кристаллические же формы полевых шпатов обычно образованы менее правильно, тогда как кварц уже просто заполняет собою все промежутки. Зернистая порода с подобным понижающимся идиоморфизмом составных частей обычно носит название гипидиоморфно-зернистой (полуидиоморфной) структуры. Часто последовательность образования обнаруживается еще и на основании того факта, что более молодые по времени выделения составные части нарастают вокруг более старых.

С химической стороны эта последовательность образует ряд с убывающим содержанием тяжелых металлических и большей частью темноокрашенных составных частей и с возрастающим содержанием кремнекислоты, т. е. ряд от основного (металла) к кислому (кремнекислота) полюсу. Подобная последовательность, обоснованная и теоретически и экспериментально, может рассматриваться как нормальный случай для расплавленной массы в спокойном

состоянии. В частности же она, разумеется, зависит от первоначального состава расплавленной массы, т. е. от имеющегося в наличии материала, и от глубины, т. е. от фаций. Некоторые минералы, особенно имеющие плотное молекулярное строение, обладают устойчивостью только при высоких температурах и давлениях, а потому вблизи поверхности они обычно бывают замещены другими комбинациями. Алмаз, гранит, оливин — $(\text{Mg}, \text{Fe})_2 \text{SiO}_4$ — являются например ясно выраженными фациальными минералами более глубокой зоны. Они не только не образуются близ поверхности, но даже выделившиеся уже кристаллы превращаются в иные комбинации, которые сохраняют устойчивость в поверхностной зоне. Часто при этом сохраняется внешняя форма, благодаря чему достигается возможность расшифровки истории образования.

Особенно характерным для изверженных пород является, как мы уже говорили, тот факт, что при их образовании происходит или до или во время застывания перемещение их в пространстве, место их образования и место застывания по большей части не совпадают. При таких условиях расплавленная масса, находящаяся в покое, является частным случаем. Благодаря этому во время хода застывания могут не только произойти изменения в комбинации минералов, но даже сама последовательность застывания может претерпевать своеобразные видоизменения. Это прежде всего происходит оттого, что при изменении температуры и давления уже образовавшиеся кристаллы могут снова или частично или полностью раствориться, так что процесс должен начинаться снова во второй фазе. В порфировых породах например мы часто встречаем довольно крупные первичные выделения полевого шпата и кварца, которые затем по краям были растворены, после чего начиналось снова выделение минералов в нормальной последовательности, но с образованием более мелких зерен.

Кроме этой физической причины, к отклонению от нормы может также повести и химическая причина. Кристаллизующаяся масса уже вследствие самого процесса кристаллизации меняет свой химический состав; если же она еще находится в движении, то некоторые части под влиянием силы тяжести, диффузионных токов и т. п. могут еще отставать, поскольку они тяжелее, или двигаться быстрее вперед, поскольку они например богаты газами и летучи. Подобные химические изменения непосредственно влияют на порядок выделения составных частей, так что например в гранитах после богатых кремнекислотой щелочных полевых шпатов образуются опять бедные кремнекислотой известковые полевые шпаты; в таком случае кристаллы имеют зональное строение, по которому мы можем непосредственно заключать об изменениях состава.

Аномалии последовательности застывания являются следовательно признаком изменения физических и химических условий, т. е. изменения интеркрустальных фаций, являющегося следствием движения расплавленной массы. Здесь мы опять применяем основной метод геологического исследования. На основании конечного результата и актуалистически — на основе физико-химических условий реконструированных промежуточных стадий — устанавливается последовательность во времени отдельных стадий процесса, чем заме-

няется невыполнимый эксперимент. Разница с суперкрустальными отложениями состоит в том, что процесс, как таковой, не может быть наблюдаем непосредственно; но зато он может быть так хорошо истолкован с физико-химической точки зрения, что получаемые данные оказываются совершенно надежными. Здесь конечно геология может меньше, чем в других областях, отказаться от помощи точных наук, но при этом она вовсе не лишается своей самобытности.

Химические фации (дифференциация)

Глубинные породы по их химическому и минералогическому составу, в котором наблюдается большое разнообразие, можно систематизировать с трех точек зрения.

1. По химическому составу, поскольку он выявляется в преобладании кремнекислоты или окислов металлов и, в конце концов, может быть изображен соответствующим рядом между двумя полюсами: 1) основные, т. е. бедные кремнекислотой, богатые окислами металлов и щелочно-земельными элементами (Ca, Mg); 2) кислые, т. е. богатые кремнекислотой, алюминием и щелочами (Na, K).

Первая группа охватывает породы с высоким удельным весом (2,9—3,1), большей частью темной окраски. Поверхностные эквиваленты относятся в более широком смысле к группе базальтов, глубинные породы представляют собой габбро, пироксениты, перидотиты и т. п., т. е. породы с преобладанием таких минералов: оливина, роговой обманки, авгита и, поскольку они представлены, известковых полевых шпатов.

Вторая группа включает в себя более легкие по своему удельному весу породы (2,6—2,8) и более светлые по окраске. Поверхностные эквиваленты представлены порфиром, липаритом, трахитом и т. п. Глубинными породами являются гранит и, как бедные кварцем, переходные звенья к другой группе — сиенит и диорит. Преобладают кварц, щелочные полевые шпаты, а из темных составных частей — слюда.

Это химическое противоположение было в свое время фиксировано Эд. Зюссом сокращенными обозначениями Simal (силиций — малый) и Sial или Sal (силиций — алюминий). Хотя против таких обозначений и могут быть выдвинуты возражения, но в чисто номенклатурном отношении они повидимому вполне применимы, независимо от того, кладутся ли они в основу теоретических построений.

Дальше мы еще придем к тому, что этот ряд часто оказывается также рядом временного порядка и может в период подъема расплавленной массы изменять свое направление от одного полюса к другому.

2. По химическому составу, поскольку он выражается, с одной стороны, в преобладании натрия, а с другой — кальция и калия и соответственно этому ведет к совсем другим комбинациям минералов.

Группа, которая обозначается как щелочный или атлантический тип, бедна алюминием и известью; натриевый авгит или натриевая роговая обманка являются руководящими минералами. Вместо полевых шпатов появляются их «заместители» — нефелин, лейцит и т. п.

Вторая группа обозначается как щелочно-известковый или тихо-

океанский тип и отличается относительно высоким содержанием алюминия и преобладанием калийных и щелочно-известковых полевых шпатов. Руководящих минералов в группе в собственном смысле этого слова нет. Характеристика ее скорее основывается на отрицательных признаках.

В обеих группах имеются и кислые и основные члены, причем надо подчеркнуть, что на обоих полпосах противоположность между ними обычно сглаживается.

Наименования «атлантический» и «тихоокеанский», которые вообще следует употреблять с осторожностью, указывают уже на то, что здесь деление делается на основе пространственного принципа. Однако можно сказать, что оба типа распространены на участках земной коры с определенным строением или могут соответствовать различным видам орогенических движений. По Нитгли можно выделить даже еще и третий тип — средиземноморский, в котором преобладает калий.

Тихоокеанский и средиземноморский типы связаны с периодом горообразования альпийского типа (складчатость), а потому приурочиваются к районам, подвергшимся подобному орогенезу.

Атлантические породы, наоборот, появляются после образования складчатости или в местах интенсивного образования разломов: палеозойский грабен в Осло отличается необычайно полной атлантической серией глубинных пород; появляются они также в третичном грабене Рейнской долины (Кайзерштуль, Катценбукель); наконец они характеризуют большие разломы по внутреннему краю складчатых гор (внутренняя зона Карпат, вулканы внутреннего края, т. е. района к западу от Аппенин).

3. Третий отличительный признак важен с точки зрения глубинных фаций¹ и представляет минералогические комбинации, на которые оказывает влияние давление. О нем уже говорилось в предыдущей главе, будет говориться и дальше, так как он имеет еще большее значение для кристаллических сланцев, чем для интеркрустальных расплавленных масс.

Для некоторых районов удается часто сделать довольно детальные подразделения. Так Ф. М. Гольдшмидт в каледонских складчатых горах Норвегии (образовавшихся между силуром и девонем) выделил три основных ряда (ствола) пород (Gesteinstämme). Ряд зеленых лав, ряд берген-йотунских пород, ряд опдалитово-трондjemитовый (Stamm der grünen Laven, Bergen-Jotunstamm, Opdalit-Trondhjemitstamm), которые последовательно в смысле времени появляются один за другим, включают основные и кислые породы и отличаются особыми комбинациями минералов или содержанием воды в минералах.

Вышеизложенные основные принципы залегания позволяют очень хорошо установить последовательность образования различных пород в определенной местности.

На основании того факта, что на глубинные породы могут оказывать влияние орогенические движения до, во время и после застывания, оказывается возможным различать породы протектонические,

¹ Т. е. этот признак говорит о глубине образования. *Прим. ред.*

синтектонические и посттектонические. Почти всюду, особенно в складчатых торах, является действительным правило, гласящее, что магматическая деятельность начинается основными породами, а заканчивается кислыми.

Таким образом мы подходим к самому глубокому вопросу геолого-петрографического исследования, к вопросу о сущности (Sinn) и о времени разделения магм на различные с химической и минералогической точки зрения ряды (Sirpen). Здесь очевидно возможны два пути для теоретической мысли: или это разделение — очень древнее явление, происшедшее с начала застывания земной коры, или оно происходит все время заново внутри однородной расплавленной массы, находящейся на глубине. Эта проблема расщепления или дифференциации, которая, разумеется, разрешима только при широком применении физико-химических методов, может быть здесь затронута только вкратце; но ввиду важности этого вопроса для основных геологических процессов необходимо все же рассмотреть некоторые возможности.

Первичное разделение магмы в процессе образования земной коры конечно мыслимо; здесь при разделении вероятно играл роль принцип тяжести в том смысле, что составные части с более высоким удельным весом опускались вниз, а более легкие концентрировались вверху. Такое разделение, хотя и не полностью происшедшее, отнюдь не является невозможным, и, как будет показано дальше, может быть обосновано геофизически.

Эта первичная «гравитационная дифференциация» однако никоим образом не может объяснить огромной изменчивости во времени и пространстве. Ни последовательный ряд поднятия магм от основного к кислому полюсу, ни противоположность атлантических и тихоокеанских пород не могут быть объяснены таким путем без введения недоказанных и недоказуемых вспомогательных гипотез. Не желая говорить о полной однородности, о «магме среднего состава»¹, нужно все же указать, что смена типов пород во времени, которая заключается в том, что различные типы следуют друг за другом в одном районе, и их смена в пространстве, обнаруживающаяся в залегании этих типов пород рядом в районах, отличающихся по геологическому развитию, говорят в пользу расщепления или разделения смеси, которое не представляет собой однократного явления, но может при известных условиях повторяться.

Но разумеется это далеко еще не разрешает вопросов «когда» и «как», касающихся процессов дифференциации. И здесь тоже приходится ограничиться только указанием различных возможностей теоретического исследования. Ведь магматические породы образуются путем подъема из глубины, т. е. из какого-то первичного очага; и застывают в каком-то новом месте или внутри земной коры или на ее поверхности. Следовательно дифференциация может наступить или в глубине первоначального очага или во время подъема или же после занятия того пространства, где происходит застывание.

¹ Такую среднюю породу представляют например монцониаты, которые стоят между щелочными и щелочно-известковыми породами и могут дифференцироваться в обоих направлениях.

В тех случаях, когда доказаны наличие резких границ и различия во времени между двумя пересекающимися друг друга магматическими породами или наличие двух потоков лавы с различным составом, которые налегают друг на друга, имеется возможность исключить последнее предположение о расщеплении *in situ*; разрешение же вопроса о двух других возможностях на основании непосредственного наблюдения вряд ли возможно.

Еще труднее разрешается вопрос о причинах расщепления магмы, и здесь мы укажем только на некоторые возможности, причем исчерпывающее их перечисление в настоящее время еще почти невыполнимо.

1. Плавление окружающих пород может местами привести к изменению состава расплавленной массы. Это само по себе конечно не представляет ни расщепления, ни разделения смеси, а наоборот, смешение, и продуктом его является «гибридная» смешанная порода. Очевидно, что подобный процесс возможен только при очень высокой температуре, следовательно на очень большой глубине; это видно также из того, что температура плавления силикатов обычно выше, чем температура их застывания. Таким образом жидкая магма может находиться на меньшей глубине, рядом с твердыми породами, не расплавляя их. Далее однако надо принять во внимание то обстоятельство, что если бы однородность расплавленной массы, из которой образовались большие гранитные массивы, могла быть объяснена только подобным расплавлением, то нужно было бы предположить, что наряду с высокой температурой магмы, другими словами, ее жидким легкоподвижным состоянием, имело место и длительное состояние покоя; иначе вряд ли было бы достигнуто химическое выравнивание состава первоначальной расплавленной массы и «гибридной» массы, получившейся в результате смешения. Следовательно плавление должно было иметь место до начала подъема, так как позднее могли образоваться только очень узкие пограничные зоны гибридных пород вдоль стенок магматической массы. Таким способом можно например истолковать происхождение двух сподяных гранитов, которые образуются в краевых зонах гранитных массивов, соприкасающихся с богатыми глиноземом породами¹.

Таким образом оказывается, что различия в составе могут быть вызваны позднейшим процессом смешивания. Хотя эта возможность и очень важна сама по себе, нужно считаться с тем, что мог иметь место и обратный процесс — разделения смеси. Это видно уже из того, что некоторые составные части, находящиеся в породах, имеют лишь ограниченную способность к смешению, т. е. смешиваются только при высоких температурах. Особенно ясно это видно на некоторых метеоритах, которые состоят из железно-никелевого сплава с примесью кремнекислоты. Мы находим в метеоритах, представляющих собой железно-никелевый сплав, оливково-зеленые капельки оливина (силикат магния и железа), которые выделились из расплавленной массы во время охлаждения, как капли масла в воде. Этот факт, т. е. отделение металла от шлака, который лежит также

¹ К этому мы еще вернемся ниже, при обсуждении вопроса об образовании пространства, занятого глубинными породами.

в основе процесса плавки в доменной печи, приводит нас к следующей группе возможностей расщепления магмы.

2. Важнейшая причина дифференциации магмы заключается в конце концов в уже упомянутом факте, что различные составные части расплавленной массы при понижении ее температуры выкристаллизуются не одновременно, а друг после друга в закономерной, т. е. точно физико-химически обоснованной последовательности, которая зависит от концентрации веществ, от давления, температуры и т. д. Наличие здесь определенной зависимости является вероятным уже потому, что в последовательной серии пород, так же как и в последовательности застывания основные продукты являются более древними, а кислые — более молодыми. В период застывания состав расплавленной массы меняется все время. Это уже само по себе является расщеплением. Если при этом отдельные выпавшие составные части остаются во взвешенном состоянии в магме, то после полного затвердевания средний состав породы будет соответствовать среднему составу магмы. Но этот случай не является наиболее вероятным. Вполне мыслимо отделение уже затвердевших частей от остающихся еще жидкими, т. е. движение в самой расплавленной массе. Но и здесь перед нами встанут различные возможности.

а) Движение может быть целиком обусловлено силой тяжести, т. е. выделившиеся более тяжелые составные части погружаются на дно магматического резервуара. Это само по себе очень правдоподобное объяснение, которое дает представление о своеобразном процессе химической седиментации во вмещающей магмы, особенно популярно среди американских петрографов, которые широко поставили опыты по исследованию этого вопроса. В этом случае можно было бы ожидать, что внутри массива интрузивных пород будет существовать нечто вроде слоистости со скоплением выделившихся первыми — более тяжелых минералов — внизу, а более легких и позднее выделившихся — сверху. Это явление часто, но не всегда, имеет место, что объясняется известными осложнениями (исследованными также американцами), заключающимися прежде всего в том, что опустившийся на дно осадок может давать еще некоторые реакции и входить в химическое взаимодействие с окружающей магмой. Такое объяснение не может быть исчерпывающим для всех особенностей известных нам форм залегания, так как бывают например случаи, что кислая порода имеет сверху или сбоку оболочку из основной породы, чего нельзя объяснить течением, обусловленным силой тяжести. Здесь возможны два следующих случая.

б) Вследствие разницы в температуре между расплавленной массой и вмещающими породами могут или даже должны возникнуть выравнивающие или конвекционные течения термического происхождения в самой магме. Это движение будет захватывать выделившиеся кристаллы и нести их по определенному направлению, так что они начнут скопляться по краям резервуара магмы, что поведет к разделению по химическому составу. Изучением этого явления занимался специально Бреггер (Broegger) при исследовании изверженных пород района Осло.

в) Предыдущий случай будет иметь место прежде всего тогда, когда расплавленная масса достигнет окончательного места своего

застывания, а время подъема к этому месту является как раз периодом самого интенсивного движения против направления силы тяжести. Вряд ли приходится обосновывать, что такое движение может повести к химическому разделению, если в это время начнется выпадение твердых составных частей из расплавленной массы, так как ясно, что вязкая каша кристаллов с большим внутренним трением «течет» конечно медленнее, чем расплавленный, еще однородный поток. Я думаю, что такой случай можно указать в Шварцвальде. Там в совершенно однородном граните (Hauptgranit) оказалась аномалия в последовательности выделения составных частей, состоявшая в том, что сначала выделялись богатые кремнекислотой, затем несколько более основные, а затем опять кислые полевые шпаты. С другой стороны, по характеру залегания можно заключить, что сначала поднялись основные, потом очень кислые, потом средние кислые, а затем опять кислые породы. Если сопоставить последовательность во времени выделения составных частей и поднятия, то создается следующая картина образования.

После того как выделились первые, основные минералы (рудные минералы, роговая обманка, слюда), каша кристаллов, в которой они скоплялись, поднялась вверх. Первоначальная магма (Stammagma) обеднела этими составными частями; она стала относительно слишком кислой, вследствие чего началось выпадение богатых кремнекислотой минералов. Вследствие движения расплавленного потока эти весьма кислые породы тоже отделились и застыли, благодаря чему магма стала несколько беднее кремнекислотой; тогда снова началось образование основных полевых шпатов, после чего дальнейшее застывание потекло «нормально». Здесь мы имеем кристаллизацию и расщепление расплава во время его поднятия. Таким образом мы можем, прибегнув к «историческому» методу геологического исследования, что весьма важно с методологической точки зрения, установить связь между последовательностью кристаллообразования и процессами разделения пород и поднятия магмы, и таким образом обобщить в исторической картине этапы движения расплавленной магмы и ее застывания.

Эти три возможности гравитационного, термического и связанного с поднятием расщепления магмы мы можем обобщить как дифференциацию движения. Вероятно они все три осуществляются в действительности, но одна из них может иметь перевес, в зависимости от того, началось ли застывание до подъема, во время подъема или после него.

3. Следующая возможность расщепления расплавленной массы основывается на том факте, что в ней имеются в большем или меньшем количестве растворенные газообразные вещества. Такой раствор может оставаться стабильным только при высоком давлении; при понижении давления газообразные составные части могут выделиться еще до наступления жидкой фазы, а так как они более подвижны, то могут двигаться как бы впереди магмы, заполняя разрывы и трещины в породах. Из этих газообразных частей в свою очередь освобождаются составные части, которые выкристаллизовываются при понижающихся давлении и температуре или непосредственно, или посредственно, т. е.

с переходом через жидкую фазу. При посредстве жидких составных частей, к которым может быть отнесен и водяной пар, составные части магмы могут отщепиться и выпасть в такой комбинации и с такой структурой, которые будут совершенно отличаться от основного массива. Здесь речь идет о процессе, который имеет место в конце существования магмы, т. е. сравнительно не очень далеко от поверхности земли. Некоторые комбинации минералов, как например содержащий бор турмалин, содержащий фтор плавиковый шпат, розетки мусковита, а главным образом некоторые руды (оловянные, вольфрамовые и молибденовые), являются характерными для этого процесса выделения веществ из летучих растворов, который обозначается как пневматолитиз. Из характерных структурных типов следует отметить так называемые перматиты и письменные граниты, жильные породы с одновременным выделением и своеобразным взаимным прорастанием кварца и полевого шпата.

4. Четвертая возможность разделения магматического расплава имеется наконец в том случае, когда жидкие и летучие вещества с поверхности получают доступ к магме. Так например Ф. М. Гольдшмидт пытался объяснить богатство водой тронджемитового семейства (Trondjemitstamm) пород в горах Норвегии в противоположность бедности водой бергенского семейства (Bergenstamm) поглощением воды из бассейна каледонской геосинклинали.

Из этого далеко не исчерпывающего перечисления следует, что разделение на части различного состава однородной расплавленной массы может происходить и повидимому происходит различными способами. Большое значение для определения места и направления расщепления имеют химические особенности, комбинация минералов и структуры. Условия залегания пород помогают также определить отнесенную последовательность во времени этого процесса.

Интеркрустальные движения

Образование пространства

Рассмотрение вышеизложенных физико-химически обоснованных положений должно помочь нам объяснить возникновение интеркрустальных «документов» — глубинных пород. Если мы хотим провести параллель с суперкрустальными породами, то можно сказать, что затвердевание является аналогичным процессу образования отложений, а разделение магматических пород — проблеме фаций.

Но так как здесь существуют принципиальные различия вследствие деления на твердую и жидкую фазы, то аналогия при рассмотрении процессов интеркрустального движения является довольно неполной.

Процессы орогенеза и эпигрогенеза могут оказать воздействие также и на интеркрустальные породы и принципиально будут протекать сходным образом. Но и их толкование бывает конечно трудное, так как исходной формой является не горизонтальный пласт, как это нормально для осадочных пород, а тела сложного происхождения, имеющие крайне неправильные очертания. Форма этих тел не дана нам а priori, как форма горизонтальной суперкрустальной свиты пластов.

но является проблемой, для разрешения которой приходится прибегать к логическим построениям и выводам. Эта форма не является следствием основанного на силе тяжести перемещения частиц породы из места их образования (район эрозии) к месту отложения (район седиментации), но следствием поднятия магмы или плутогенеза. Движение перед или во время последней фазы образования, т. е. во время затвердевания, имеет здесь, в противоположность суперкрустальным породам, особенно важное значение.

Мы сейчас докажем, что расшифровка этого движения основывается на двух предпосылках: 1) на сравнении имеющегося состояния с тем, какое было до интрузии расплавленной массы, 2) на исследовании фаз движения внутри застывшей расплавленной массы.

Второй пункт является для нас новым, а первый нам уже знаком, так как мы уже касались его при обсуждении суперкрустальных пород. Только здесь эта проблема оказывается значительно сложнее. Мы можем поставить прежде всего такой вопрос: что было в интеркрустальном пространстве до того, как его заполнила расплавленная масса, которая застыла в нем? Для суперкрустальной породы ответ прост: пограничная область между литосферой (породы на дне моря) и гидросферой (столб воды) или атмосферой (столб воздуха). Для породы, образовавшейся внутри коры, дело обстоит иначе: на том месте, где она находится сейчас, должна была существовать раньше или другая порода или пустота. Надо заметить при этом, что последнее допущение делается лишь условно. Конечно узкая трещина может просуществовать некоторое время, а затем заполнится расплавленной массой, пустоты же, имеющие объем в несколько кубических километров, готовые к приему крупных гранитных массивов, уже на основании соображений об устойчивости не мыслимы. Следовательно такая пустота должна была образоваться постепенно и медленно во время внедрения магмы при непрерывном притоке расплавленной массы.

Здесь мы подходим к основной, но еще далеко не окончательно разрешенной проблеме пространства при плутонических процессах. Главное затруднение состоит в том, что всякому толкованию должно предшествовать точное картографическое изображение границ вновь созданного и заполненного расплавленной массой пространства. Но эта возможность почти исключена уже потому, что нам большей частью известно только поперечное сечение этого пространства современной земной поверхности, а заглянуть в глубину мы можем в лучшем случае лишь на один-два километра. Если принять во внимание, что общая мощность земной коры измеряется величинкой порядка 40—100 км, то становится ясно, что это проникновение на 1—2 км почти ничего не дает, и основывать воспроизведение картины образования пространства на случайном поверхностном разрезе не имеет никакого смысла.

Прежде чем перейти к дальнейшему изложению, мы остановимся на двух частных случаях.

1. В районах суперкрустального вулканизма, которые впоследствии были сильно разрушены, можно иногда при благоприятных обстоятельствах заглянуть в более глубокие части расплавленной массы. В таких случаях оказывается, что большое пространство излившиеся породы занимают только на поверхности, и что в нижней части

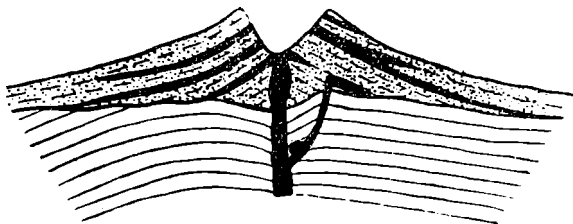
вулкана находится только узкий канал, или, еще точнее говоря, одна или несколько трещин в породах, по которым расплавленная масса могла подниматься, а затем распространяться по верхней границе литосферы. Здесь собственно даже нет проблемы пространства (фиг. 18).

2. В некоторых породах, которые дают возможность заглянуть в более глубокие части земной коры, обнажающиеся в глубоких долинах, были обнаружены небольшие тела интеркристалльных пород, которые залегают более или менее согласно с нормальными горизонтальными пластами суперкристалльных пород. Здесь ясно, как и в первом случае, что расплавленная масса проникла снизу по трещинам или узким трубам, причем она создавала для себя место поднятием части пластов, так что они получали сводчатую форму вроде часового стекла. В таких случаях тело магматической породы имеет полулинзообразный поперечный разрез; расплавленная масса проникла здесь по контактам между пластами, по линии наименьшего сопротивления и распространялась благодаря давлению снизу вверх на «кровлю». Возможность для этого имела в то время, когда внутреннее напряжение расплавленной массы или гидростатическое давление на нее были сильнее, чем сопротивление налегавшей на нее толщи пород, но недостаточны для того, чтобы произвести разрыв кровли и извержение магмы на поверхность.

Очевидно, что такие случаи образования лакколитов могут встречаться в верхних частях земной коры, когда при поднятии магмы вес налегающего столба породы будет приблизительно равен давлению магмы.

При этом характерное распространение жидкой расплавленной массы вдоль поверхности пластов, как поверхности наименьшего сопротивления, может конечно начаться уже на большой глубине и, в случае наличия большого количества газа в расплавленной массе, может привести к инъекции многочисленных межпластовых пропластков (Blätt für Blätt или lit par lit), т. е. к проникновению магмы в каждую доступную ей щель. В самом крайнем подобном случае образуются настоящие омеянные породы (Mischgesteine) между осадочными и магматическими породами.

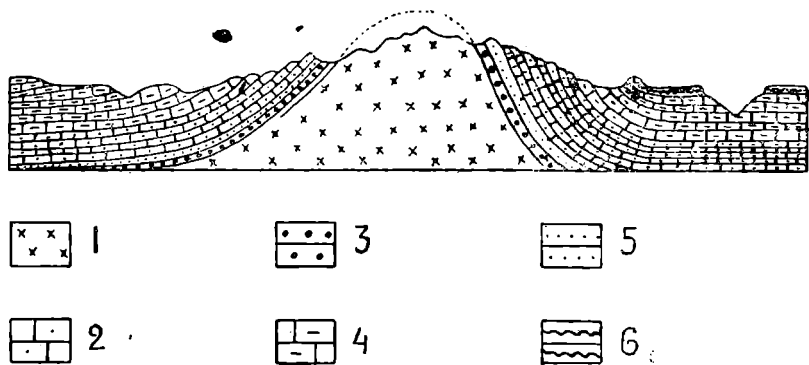
Подобное согласное (конкордантное) внедрение в ранее существовавшие трещины между пластами не представляет для пространственного представления никаких затруднений, особенно если речь идет о поверхностных зонах и о явлениях небольшого масштаба. Но в общем это является частным случаем; огромные массивы грани-



Фиг. 18. Вулкан с подводящим каналом.

Черным изображена застывшая масса в канале и в суперкристалльных лавовых потоках; точками — вулканические пеплы, перемежающиеся с лавой; белым — более древние пласты. Если гора, сложенная пеплами и лавами, подвергается разрушению, то остается только трещина или канал, по которым поднималась расплавленная масса.

тов обнаруживают несогласное, так сказать, совершенно автономное залегание между другими породами, независимо от границ пластов или других ранее образовавшихся межпластовых трещин. Нормальная связь между этими более древними породами оказывается нарушенной расплавленной массой, а порою даже создается впечатление, что большие комплексы этих пород совсем исчезли. Для этих больших массивов часто еще допускается, что ограничивающие их поверхности наклонены наружу, так что пространство, занятое глубинными породами, может расширяться вниз. Подобные колоссальные магматические массы, залегающие несогласно, т. е. независимо от строения коры, и которые должны уходить, расширяясь в субкрупную магматическую область, называются **батолитами**.



Фиг. 19. Порфировый лакколит, поднимающий окружающие пласты в виде купола. Блэкхиллс, Сев. Америка (по кн. Jaggar из Tornquist, 1915).

1 — порфир; 2 — кембрийские песчаники и известняки; 3 — силурийские известняки; 4 — каменноугольные известняки; 5 — каменноугольные известняки и песчаники; 6 — пермские известняки и мергеля.

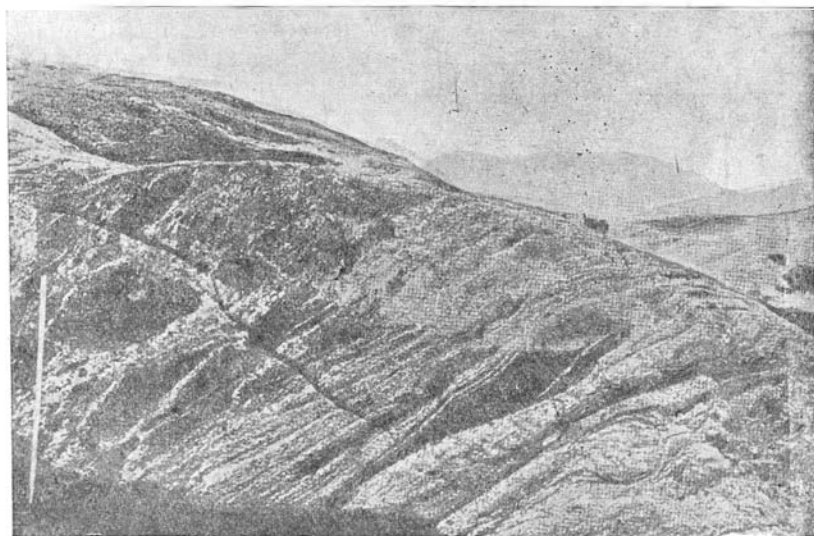
Допущение их существования основано конечно на экстраполяции, так как нашему непосредственному наблюдению доступна только толща пород, которая распространяется на достижимую глубину, лишь редко превышающую какие-нибудь несколько сот метров¹.

Масштабное сопоставление результатов наблюдения с дополнениями, сделанными на основании предположений, показывают, что здесь собственно речь идет о недопустимом обобщении. И все-таки, несмотря на это, попробуем исходить из представления о батолите, как самой обыкновенной форме залегания интеркрупальных пород. чтобы проверить все возможности. Как уже сказано выше, возможность предварительного существования внутри земли пустот подобных размеров отпадает, и так как те пространства, которые сейчас заняты глубинными породами, первоначально были заполнены какими-то другими породами, то здесь опять возникает две возможности.

1. Замещение произошло благодаря плавлению окружающих пород, которые таким образом вошли в состав магмы. Что такое плавление и омещение в глубине в общем вполне мыслимо, доказано уже давно; что же касается подобного явления вблизи земной поверхности,

¹ Развитие этой проблемы см. у Клооса. Cloos. Das Batholitenproblem. „Fortschritte der Geologie und Paläontologie“, Heft 1, 1923.

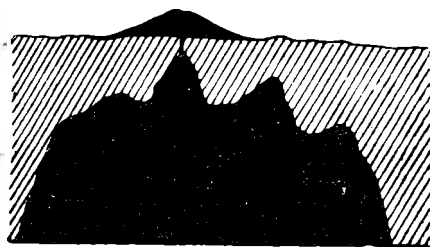
то на этом особенно настаивают французские исследователи. Барруа (Barrois) описывал примеры из Бретани, где смятые в складки осадочные породы палеозоя были прорваны гранитными массивами; при



Фиг. 20. Параллельная инъекция светлого пегматита в темный рогово-обманковый гнейс. Торридонское ущелье в Шотландии по Тиллу из Кобера, „*Ban der Erde*“, 1928.

этом сланцы должны были расплавиться, тогда как более тугоплавкие песчаники, избыток кремнекислоты которых не мог больше раствориться в кислой гранитной магме, остались в граните в виде полос и прослоев. Этим данным до известной степени противостоят новые наблюдения Баклунда в Гренландии, где как раз сохранились сланцы а кварциты (также песчаники) обратились под действием расплавленной массы в гранитную смешанную¹ породу.

Если бы даже допустить принципиальную возможность, что расплавленная масса из глубины может, как пламя паяльной лампы, «прогрызть себе путь» или если воспользоваться прекрасным сравнением П. Термье (Termier) с масляным пятном («*la tache d'huile*»), пропитывающим пористые осадочные породы и поднимающимся на поверхность, то и тогда имеющиеся до сих пор наблюдения, лежащие в основу этой теории, оказываются слишком недостаточными. В гро-



Фиг. 21. Схема батолита с суперпозитивными вулканами и питающим его каналом. По Клоусу, 1923.

¹ Подобные породы называются мигматитами (Седергольм). *Прим. ред.*

мадном большинстве случаев затвердевшая расплавленная масса резко отграничивается от окружающей породы, и утверждение, что очень однородный химический состав глубинных пород изменяется по направлению к краям, благодаря возрастающей добавке составных частей из окружающих пород, едва ли когда-либо подтверждается. Правда окружающие породы часто перекристаллизуются под влиянием плутонического жара и образуют ряд концентрических оболочек с постепенно понижающейся степенью изменения по направлению к внешней стороне (экзогенное контактное поле), «эндогенное» же воздействие на расплав ограничивается максимум узкой пограничной полосой и практически не имеет значения. Такое проникновение при помощи проплавления вряд ли способно выдержать критику как общее объяснение, особенно в тех случаях, когда магма проникает почти до поверхности.

2. Вторая возможность особенно подчеркивается американцами (Daly); в Европе приложимость этой теории была испытана Заломоном (Salomon Calvi), работавшим над массивом Адамелло в южных Альпах. Если химическое растворение покрывающих пород во многих случаях является невозможным, то остается допустить механическое воздействие. Расплавленная масса проникает раньше всего во все щели и трещины своей «кровли», расширяет их, отрывает таким образом глыбы окружающих пород, которые погружаются в расплавленную массу, уходят в глубину и там постепенно разрушаются. Применяя горный термин, этот процесс можно назвать «потолокоуступным» (overhead stoping), а самую теорию «теорией обрушения кровли напором» (Aufstimmungstheorie). Клоос (Cloos) дал очень убедительные примеры действительного существования подобного явления, которые он наблюдал в горах Эронго в юго-западной Америке, где гранит внедрился таким способом, как здесь описано, в спокойно залегающие песчаники и где глыбы этих же песчаников фигурируют как включения в граните.

Там, где глубинная порода несогласно прорывает земную кору и где можно найти признаки, говорящие о том, что части последней исчезли, т. е. замещены глубинной породой, там несомненно мы имеем дело со вторым видом замещения. Затруднения однако начинают возрастать вместе с масштабом и в случае батолитов, занимающих пространство в несколько десятков кубических километров, мы доходим до крайне фантастических представлений.

Поэтому большой заслугой Клооса явилось его указание, сделанное им несколько лет тому назад, на полную недоказанность и даже, можно сказать, невозможность доказать форму залегания в виде батолитов. Здесь мы опять имеем необычайно характерный с методологической точки зрения случай обращения рабочей гипотезы в аксиому, которая влечет за собой дальнейший ряд допущений, «основанных на фактах», а в конечном результате ведет к фантастическим выводам, т. е. заводит в тупик. Шаг вперед может быть сделан только после новой тщательной проверки основных понятий.

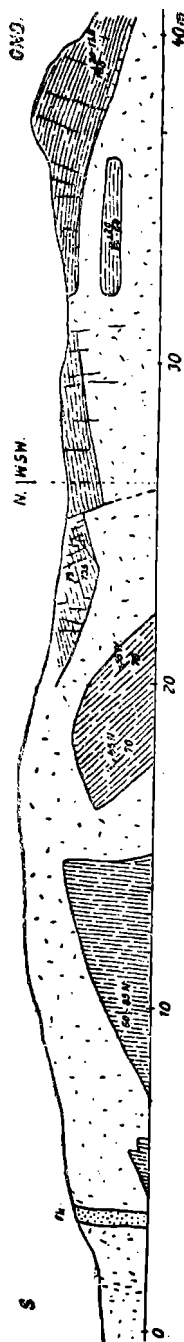
Клоос показал на целом ряде примеров из центральной Европы (Брокен, Лаузитц, Баварский Лес), что представление о батолитах, т. е. о телах, состоящих из глубинных пород, которые уходят своей расширяющейся поверхностью основания на бесконечную глубину,

не только не доказано, но большей частью и невероятно, а иногда даже определенно неверно.

Часто оказывается возможным определить ложе (Unterlage) массива глубинных пород и установить, что этот массив представляет собой более или менее мощные пласты, которые были втиснуты в какие-нибудь трещины или контактовые швы между пластами уже отвердевших пород. Эти трещины и межпластовые швы в процессе проникновения магмы расширяются и таким образом возникают пространства для застывающих пород. При этом плавление и обрушение кровли оцениваются скорее как местные явления небольшого масштаба. Расширение трещин напластования может одинаково иметь место и вблизи земной поверхности, как в случае лакколитов, когда активное выпирание кровли происходит вследствие напряжения внутри расплавленной массы, но может произойти на большой глубине, благодаря орогеническим (горообразовательным) процессам, при чем эти пустоты тотчас же «заполняются» подвижной расплавленной магмой.

Процесс поднятия магмы может в общем быть истолкован следующим образом.

Из субкrustального очага о котором мы пока ничего не можем сказать, расплавленная масса проникает вверх, вдоль контактов (Trennungsfugen) между различными породами. Но земная кора не однородна, а состоит из пород различной плотности, залегающих друг с другом или переслаивающихся между собой; крупные несогласия — доказательства многочисленных горообразовательных движений — отделяют более древние, более складчатые породы от верхних горизонтальных пластов более молодых осадочных пород. Эти несогласия, плоскости наименьшего сопротивления, являются наиболее удобными путями для подъема расплавленной массы. Но они являются также плоскостями движения в позднейшие эпохи горообразования, плоскостями, вдоль которых может иметь место увеличение или сокращение пространства, благодаря чему расплавленная масса может накапливаться или выдавливаться. Вообще установлено, что большие несогласия являются местами накопления глубинных пород. Дальнейшее завоевание расплавленной массой нужного ей пространства может совершаться путем плавления и обрушения пород, и выше путем выпирания перекрывающих пород в виде сводов. Если напряжение



Фиг. 22. Стригауский гранит (Силезия) с поднятой в виде свода сланцевой кровлей и включенными глыбами. По Клоосу, 1922.

магмы сильнее, чем сопротивление кровли, то может произойти вулканическое извержение на поверхность, к экструзии, которая конечно пролагает себе кратчайший путь к поверхности, т. е. также несогласно с окружающими породами.

Это представление о магматическом поднятии имеет то преимущество, что оно может обойтись без недоказанных и не могущих быть доказанными допущений, стоящих порою в противоречии с данным наблюдением. Главное возражение против этой теории могло бы заклю-



Фиг. 23. Плоский гранитный язык (но не баталь!), внедрившийся по границе палеозойских сланцев и более древнего гнейсо-гранита. Стригау в Силезии. По Клоосу, 1923.

чаться в том, что она не дает прямого объяснения образованию пространства, т. е. полостей, заполненных магматическими породами, а предоставляет это другой области — тектонике или орогенезу. Однако следует сказать, что такое перенесение обоснования в другую область не только оправдывается, но прямо требуется фактами. Если действительно поднятие расплавленной массы, как говорит Клоос, является «тектоникой высокоподвижных материалов», то этот процесс несомненно надо отнести как одну из частей к орогенезу. Приведем краткие доказательства этого.

Текстура и движение

В то время как для сушескрустальных особенно для осадочных, пород имеют значение только движения или изменения залегания после образования этих пород, так как там движения во время образования пород, в конце концов, представляют собой только процесс, основанный на принципе гравитации, в случае магматических пород должна учитываться двухфазная история их возникновения (поднятие расплавленной массы и ее затвердевание). Основное значение при этом имеет то положение, что в расплавленной массе сохраняются следы движения, имевшего место до затвердевания.

Движение жидкой среды благодаря внутреннему трению и трению о стенки не может быть однородным. Обычно образуются струи и полосы течения (Stromfäden und Stromstriche), которые вызываются уже тем, что вследствие падения температуры от центра к стенкам массы ее вязкость увеличивается в том же направлении. Если же расплавленная масса сама неоднородна, особенно если она содержит какие-либо включения, то последние будут сосредоточены в направлении движения. Например в потоке стекла газовые включения будут концентрироваться в отдельные пузырьки, которые будут вытянуты

по направлению движения как нитки нанизанных бус. Подобная флюидальная текстура (текстура течения) очень часто наблюдается у суперкрустально застывших лав. В интеркрустальной, расплавленной массе, в которой уже началось выделение твердых кристаллов, длительное движение проявляется в том, что эти кристаллы, поскольку они имеют форму столбиков или пластинок, располагаются параллельно по отношению к движению расплавленной массы; это параллельное расположение бывает заметно в таком случае и после окончания затвердения.

Пространственное расположение минеральных составных частей породы, которое определяется как сложение или текстура, является одним из наиболее ценных вспомогательных средств при определении направления движения в расплавленной массе и, как будет показано далее, для установления времени этих движений.

При отсутствии движения наблюдается зернистое сложение без определенной ориентировки составных частей смеси.

При слабом движении налицо имеется стремление придать твердым, имеющим форму столбиков, составным частям смеси параллельное направление. Порода приобретает волокнистое строение или линейно-параллельную текстуру, которая конечно может быть выражена слабее или ярче. Она будет выявляться в «склонности» породы лучше раскалываться в известных направлениях.

При интенсивном движении внутри вязкого материала, богатого твердыми, выделившимися из него частицами это «регулирование» сложения («*Regelung des Gefüges*») ¹ выразится особенно сильно и отразится также в виде параллельного расположения кристаллов, имеющих таблитчатую форму. Таким образом мы приходим к пластинчатому параллельному сложению, к сланцеватости породы, особенно ясно выраженной, когда последняя содержит большие включения листочков слюды. В таком случае в вязком расплавленном потоке каждый промежуток между листочками являлся поверхностью движения, т. е. соприкасавшиеся друг с другом листочки, благодаря разнице в скорости движения, передвигались один относительно другого.

Соответствие текстуры определенному направлению движения, разумеется, не является раз навсегда данным заранее, а зависит от определенных конкретных условий. Самый общий случай может быть выявлен по аналогии с текущей рекой: параллельное сложение есть выражение растягивания, которое в конце концов связано с трением о стенки и с уступанием под действием давления. Поэтому параллельное сложение больше приурочивается к стенкам, а в центре оно имеет направление, почти перпендикулярное к направлению движения. Поэтому расположение элементов текстуры в расплавленной массе при горизонтальном движении будет дугообразное, а при вертикальном — сводчатое.

Следствие этого положения может быть двоякое: 1) в смысле пространства наблюдение над текстурой позволяет установить направление движения и образование массива породы даже там, где

¹ Выражение Зандера, доказавшего, что при движении имеет также место кристаллографически ориентированный рост.

данные не могут быть получены на основании непосредственных наблюдений; 2) в смысле времени здесь имеется точка опоры для заключения о том, произошло ли поднятие и окончательное водворение на место во время или до начала кристаллизации расплавленной массы. Ясно, что частицы, установившиеся в смеси параллельно, образовались раньше, чем движение было закончено.

Следовательно мы имеем в текстуре некоторое основание для того, чтобы фиксировать во времени этапы поднятия расплавленной массы. Как показано выше, из условий залегания, т. е. из взаимного пронизывания одних глубинных пород другими, мы можем сделать вывод относительно их последовательности (возраста) и таким образом установить последовательность расщепления расплавленной массы. Структура дает указания относительно последовательности выделения составных частей, позволяет установить последовательный ход во времени процесса расщепления матмы. Текстура наконец дает нам сведения относительно времени и направления поднятия и может конечно также быть связана с химическими и кристаллографическими данными.

При движении, которое является дифференцированным вследствие трения, особенно в вязкой массе, образовавшиеся уже минералы могут быть конечно раздроблены. С другой стороны, порода может и после затвердевания изменить свое сложение, даже подвергнуться разломам, главным образом благодаря орогеническим движениям. Отличить возникшие структуры с механическим разрушением минералов, происшедшим в жидком состоянии (протоклаз — протокластические явления, т. е. деформации до окончательной кристаллизации) от раздробления, имевшего место после затвердевания (катаклаз — деформация, возникшая после кристаллизации), вполне возможно по шлифу породы, что дает нам еще одну точку опоры для определения времени движений. Самым важным отличительным признаком является наличие между обломками кристалла позднее застывшей расплавленной массы или тончайших осколков разорванных кристаллов.

Различая протокластическую или катакластическую текстуру, мы подходим к вопросу об участии глубинной породы после ее застывания. Ясно без дальнейших комментариев, что затвердевшая порода будет реагировать на дальнейшие импульсы движения, как и всякие суперкрупные породы изгибом или разломом. Трециноватость и образование разрывов будут следовательно дальнейшей реакцией на движение. Причины такого раскалывания пород могут опять-таки быть различны.

1. Образование трециноватости может быть следствием самого застывания или сжатия породы, и трещины зависят в таком случае от падения температуры, т. е. стоят в непосредственной связи с отграничивающими породу поверхностями. Их более раннее образование доказывается тем, что в них осаждаются остаточные части магмы (выделения из газообразных и водных растворов. Сюда относятся «жилы» богатых кремнекислотой магм (аплиты, пегматиты), рудные жилы, залыбанды жил (Bestege), состоящие из минералов, которые во всяком случае выделились при высокой температуре и т. п.

2. Трециноватость может происходить также от продолжения того движения, которое вызвало поднятие расплавленной массы, но

оно проявляется в затвердевшей породе конечно не в движении частиц, а в разрыве материала, ставшего «хрупким», непластичным. Как и в первом случае заполнение трещин продуктами застывания является доказательством раннего образования трещин. Направление системы трещин, т. е. движения в твердой фазе, однако должно быть здесь закономерно связано с текстурой, т. е. со следами движения в жидкой фазе.

3. Образование трещин может быть гораздо более поздним явлением и может зависеть от орогенических процессов, которые не стоят ни в какой связи с образованием данного массива. Система трещин в таком случае не заполнится магматическими продуктами и не будет вовсе зависеть ни от очертаний массива, ни от его текстуры, т. е. будет несогласно проходить через глубинную породу, а иногда даже обнаруживаться в более молодых суперкрупных породах.

Нет ничего удивительного в том, что прежде принимали во внимание только первую и третью возможности. Тот факт, что во многих и даже в большинстве случаев имеет место второе обстоятельство, был впервые доказан Клоосом с помощью изучения тектоники гранитов. Входить в детали этого метода в данной работе не позволяет место, а потому перечислим кратко только самые важные его положения¹.

1. Системы трещин обнаруживают связь с текстурой и меняют вместе с ней свое направление. Часто мы наблюдаем трещины, идущие перпендикулярно к текстуре и потому дающие веерообразное строение там, где текстура имеет форму свода (поперечные трещины — Querklüfte). Эти трещины являются выражением растяжения массива.

2. Некоторые трещины говорят о том, что они являются плоскостями сдвигов, направление движения которых совпадает с направлением линейного параллельного сложения, и по которым имело место сильное истирание породы. Эти поверхности растяжения (Streckflächen) являются также выражением усилий растягивания, т. е. говорят о продолжении после застывания магмы того же движения, которое было в расплавленной массе.

3. Следующая группа трещин проходит по направлению линейного или плоскостного (flächenhaft) параллельного сложения, и проявляется в легкой расщепляемости пород в этом направлении, которая конечно обнаруживается при каждом движении твердой породы.

4. Две системы трещин, идущие по диагонали к сланцеватости, являются выражением срезающих усилий при сдавливании пород в одном направлении или при растяжении перпендикулярно к этому направлению.

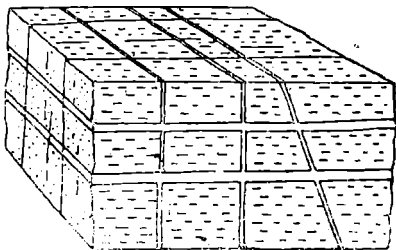
5. Системы трещин оказываются поэтому неравноценными. Отпрепарированный ими кубик породы является анизотропным, т. е. обнаруживает на различных парах ограничивающих плоскостей различные свойства при испытаниях на растяжение и сдавливание

¹ H. Cloos. Der Mechanismus tiefvulkanischer Vorgänge. Braunschweig, 1921; Einführung in die tektonische Behandlung magmatischer Erscheinungen. Berlin, 1925; die Plutone des Passauer Waldes. Berlin, 1927; S. v. Bubnoff. Die Methode der Granitmessung und ihre bisherigen Ergebnisse. „Geolog. Rundschau“, 1922.

(лучшая или худшая расщепляемость (Spaltbarkeit), более гладкие или более грубые поверхности разлома и т. д.). Это является естественным следствием параллельной или перпендикулярной ориентировки по отношению к плоскостям текстуры.

Обе другие, ранее указанные возможности образования трещин этим конечно не исключаются. Здесь только дан критерий для правильного истолкования в отдельных случаях генезиса трещин. В общем наблюдения приводят нас к важному заключению, что движение, с которым связано поднятие магмы, продолжается и после ее затвердевания. Правда, следы этого движения видоизменяются, соответственно изменению физического состояния, но они все-таки гармонически и закономерно связаны со следами движений в жидкой фазе.

Во многих случаях оказывается, что следы движений в жидкой и застывающей массе совершенно гармонично и согласно отвечают горообразовательным движениям в окружающих породах. Таким образом мы приходим к обобщающему положению, что плутогенез,



Фиг. 24. Призматическая глыба гранита с линейно-параллельной текстурой (заштриховано черточками, а в поперечном разрезе точками), трещиноватостью, параллельной текстуре (простые линии), и трещинами, перпендикулярными к ней (поперечные и продольные двойные линии). По Клоосу.

т. е. поднятие расплавленных масс и образование вмещающего их пространства, и орогенез, т. е. перемещение в пространстве твердых пород, являются только отдельными проявлениями одного и того же процесса, различие которых зависит от физического состояния материала в каждый данный момент.

Этот вывод, показывающий, что плутогенез является только орогенезом высоко подвижного, т. е. очень пластичного, материала, естественно не должен еще сейчас претендовать на абсолютную достоверность в смысле логически полной законченности цепи умозаключений.

Однако кто прочтет внимательно эту и предыдущую главу об образовании вмещающего магму пространства, тому станет ясно, что данная «рабочая гипотеза» имеет сравнительно с другими предположениями гораздо больше вероятия, основываясь в несравненно меньшей степени на недоказанных и не могущих быть проверенными на фактах допущениях.

Нужно помнить, что метод исследования интеркрустальных пород никогда не может быть настолько же актуалистическим, как метод изучения доступных непосредственному наблюдению суперкрустальных пород. Понимание их всегда основывается на истолковании результатов явлений, которые отличаются от имеющихся на поверхности, причем физико-химический эксперимент может воспроизводить только некоторую аналогию этих явлений. Однако при ближайшем рассмотрении оказывается, что источники ошибок, связанные с логическими и методическими построениями, могут быть в большой мере устранены, и что возможно сделать заключения относительно образования интеркрустальных пород и временной последовательно-

сти сопутствующих ему процессов, которые частью логически вполне очевидны, а частью основываются на вероятнейших «рабочих гипотезах», не противоречащих ни одному известному факту.

Кристаллические сланцы ¹

Актуализм или эксцепционализм

Мы видели, что хотя разделение пород на интеркрустальные и суперкрустальные и вносит некоторые осложнения в нашу теоретическую схему, но все же мы имеем для той и другой группы пород вполне определенный критерий для обоснования наших заключений относительно их последовательности во времени, а также и способа их образования. Но перед нами оказывается еще целая большая группа пород, которую мы не можем без дальнейших рассуждений включить в нашу схему, — это кристаллические сланцы. С изверженными породами общим для них является минеральный состав и кристаллическое строение, т. е. образование благодаря росту кристаллов, а не накоплению принесенного материала. С осадочными породами их связывает более или менее ясное пластовое строение, которое часто исключительно близко к слоистому. Имеются районы, где можно непосредственно наблюдать переход нормальных, т. е. едва измененных суперкрустальных осадков, в кристаллические сланцы. Почти всегда эти породы сильнее всего подвергались нарушениям вследствие горообразования: они сложены в складки, перемяты; кроме того они обычно так сильно и глубоко пронизаны интрузиями интеркрустальных пород, что расчленовка первоначальных пространственных и временных условий кажется безнадежным делом.

Этот, можно сказать, парадоксальный характер кристаллических сланцев, который не укладывается в разобранный нами теоретическую схему, лучше всего отражается в бесчисленном множестве теорий, которые от самого рождения геологии как науки пытаются дать объяснение происхождению этих пород. Здесь открываются два логически возможных пути: или эти породы суперкрустального происхождения, тогда они могли образоваться только в такое время, когда на поверхности существовали иные, чем сейчас, условия для образования пород; в этом случае они следовательно как бы были свидетелями самого далекого прошлого земли, представляя остатки первичной коры застывания, образовавшейся тогда, когда температура на поверхности была гораздо более высокая, чем теперь; или они интеркрустального происхождения, тогда эти породы могут и сейчас образовываться в глубоких, недоступных нам, частях земли.

Необычайно характерен тот факт, что мнения всегда колебались между этими мыслимыми возможностями — эксцепционалистически-

¹ Хороший обзор дает Milch в книге Salomon—Grundzüge der Geologie. Bd. 1, Teil I, 1922. Назовем из классических произведений: Rosenbusch. Elemente der Gesteinskunde, 1910; Becke. Über Mineralbestand und Struktur der Kristall. Schiefer Denkschr. Akad. d. Wiss., Wien, 1903; Sauer. Das alte Grundgebirge Deutschlands, Internat. Kongress. Wien, 1904; Sederholm. Über die Entstehung migmatischer Gesteine. „Geolog. Rundschau“, 1911; B. Sander. Gefügekunde der Gesteine. Wien, 1930.

ми (т. е. предполагающими особые, отличающиеся от современных, условия) и актуалистическими (т. е. исходящими из процессов, действующих доныне). В пользу первой возможности, как казалось, говорят различные факты. Во-первых, обнаружилось, что в Скандинавии и Финляндии, где кристаллические сланцы имеют большее, чем где-либо, распространение, удалось прочно установить несогласное наложение на них толщи неизмененных пород с наиболее древней из известных нам фаун, а именно кембрийской. Следовательно там несомненно эти породы древнее какой-либо известной нам на земле жизни. Они не несут в себе остатков никаких живых существ и соответствуют древнейшей азойской или архейской эре. Это наблюдение было повторено в различных местах земли, а так как казалось, что местами можно было непосредственно наблюдать переход типичных кристаллических сланцев по направлению вверх в перекрывающие их осадочные породы, то представление о кристаллических сланцах, как об остатке первой коры застывания земли, которая всюду является древнейшим членом в последовательности напластований и подстилает нормальные суперкрустальные породы, казалось очевидным.

То поражение, которое потерпела эта теория во второй половине прошлого столетия, исходило из принципиально новых наблюдений. В Норвегии было обнаружено, что кристаллические сланцы в большинстве случаев налегают на неизменившиеся суперкрустальные породы. Если твердо придерживаться мнения об их более древнем возрасте, то, чтобы не впасть в противоречие с основным законом отложения, пришлось бы прибегать к вспомогательным гипотезам о более поздних перемещениях в залегании. Еще важнее было указание, сделанное в Финляндии, что среди кристаллических сланцев находятся породы, которые с уверенностью можно определить как конгломераты, т. е. как скопления гальки, которые образовались при содействии движущейся воды, т. е. при условиях, которые едва отличаются от условий, имеющих на современных побережьях. При помощи этих конгломератов, которые представляют собою продукт разрушения масс более древних пород, и при помощи ясных несогласий внутри самих кристаллических сланцев Седергольму удалось хронологически расчленить финляндские породы, т. е. доказать, что здесь мы имеем дело не с одной формацией, но с целым рядом таких формаций, которые отделяются друг от друга эпохами горообразования, морскими трансгрессиями, вулканическими извержениями и т. п. В действительности, по колоссальной мощности этих пород можно заключить, что древняя азойская эра истории земли была длительнее позднейшей органической и охватывает времена, в которые способ образования пород ничем не отличался от современного.

Это заключение нанесло тяжелый удар эксцепционалистическим взглядам, а после того, как было выяснено, что в Альпах настоящие кристаллические сланцы переходят в породы, которые по содержащимся в них окаменелостям несомненно могут считаться молодыми, а именно могут быть отнесены к юрскому периоду, эти взгляды потеряли всякую вероятность. То же самое было обнаружено в различных местах земли для различных формаций. Таким образом теперь мы вообще можем указать, что наличие кристаллического строения не обязательно является указанием на очень древний возраст.

До известной степени спор был тем самым разрешен в пользу актуалистического понимания. Было установлено, что кристаллические сланцы образовались не только в период первичного застывания земли, а также было доказано, что они частично состоят из изменившихся пород, первоначально одинаковых с теми нормальными породами, которые образовались на земной поверхности. Но этим задача еще совсем не была решена, так как такое толкование было' пригодно только для известной части кристаллических сланцев. Исследования Розенбуша и Зауэра в Шварцвальде показали, что наряду с кристаллическими сланцами, несомненно возникшими из древних осадочных пород, — парагнейсами, имеются изверженные породы — ортогнейсы, по своему химическому и минералогическому составу и общему виду несомненно интеркрустального происхождения. Нормальный ортогнейс отличается от нормального гранита только тем, что составляющие его минералы расположены слоями и не имеют ясных кристаллографических граней, тогда как в граните составляющие его части располагаются без определенных направлений и, частью то крайней мере, обнаруживают ясные кристаллографические по плоскости ограничения.

Отсутствие кристаллографических граней является следствием того факта, что у кристаллических сланцев не имеется ясной последовательности выделения минералов. Все составные части кристаллических сланцев образовывались более или менее одновременно, и каждый минерал мог обрастать другими. По предложению Грубенманна (Grubenmann) эта характерная для кристаллических сланцев структура обозначается как кристаллобластическая.

По указанной причине кристаллические сланцы вообще не представляют собою чего-либо однородного, напротив, они состоят из суперкрустальных, образовавшихся на поверхности, и из интеркрустальных, затвердевших из расплавленной массы, компонентов. Часто оба типа чередуются между собой в виде согласно лежащих слоев, чем они отличаются от обычных интеркрустальных расплавленных масс, гранитов и т. п., которые несогласно пересекают суперкрустальные породы и сильнеешим образом видоизменяют последние на контактах действием своей высокой температуры. У пород, образовавшихся на поверхности, явления метаморфизма, вызванные расплавленной массой (изменения, перекристаллизация), носят локальный характер и ограничиваются только местом соприкосновения, контактом; у кристаллических же сланцев метаморфизм является региональным и часто не обнаруживает никакой зависимости от внедрившихся в породу расплавленных масс.

Поэтому актуалистическое понимание справедливо только постольку, поскольку в кристаллических сланцах частично имеются первоначальные породы, похожие на образующиеся сейчас, и поскольку процесс их превращения многократно может осуществляться в истории земли. Но на поверхности земли этого процесса наблюдать нельзя, а потому повидимому наши нормальные критерии для определения времени отказываются нам служить. Это особенно ярко выражено в Финляндии, где жилы базальтовой породы (диабаз) в граните, описанные Седергольмом, были собственно моложе самого гранита. В других же местах гранит пересекает диабаз и кажется в та-

ких случаях моложе его. В дальнейшем я еще вернусь к этим парадоксам.

Таким образом на основе этих фактов мы должны резко различать два явления: 1) образование породы, которое может быть суперкристалльным или интеркристалльным и соответственно этому подчиняться различным законам, и 2) превращение породы в кристаллические сланцы, которое не может иметь места на поверхности, т. е. должно происходить внутри земной коры. Эта двухфазность, естественно, не является идентичной с двухфазностью глубинных пород (см. выше), но указывает на замечательные параллели между ними. Превращение должно было иметь место при известных, довольно однородных условиях, так как оно придало породам различного происхождения одинаковый характер. Надо особенно подчеркнуть, что наблюдающееся в кристаллических сланцах слоистое сложение (параллельная текстура) не должно смешиваться со слоистостью. Уже в нормальных осадочных породах, которые были подвергнуты более сильному давлению в определенном направлении, можно наблюдать некоторую «сланцеватость», которая пересекает первоначальное напластование под острым углом; иногда это явление до того резко выражено, что оно совершенно маскирует первоначальное пластовое строение. Грифельные сланцы, распадающиеся на мелкие правильные столбики, являются примером приблизительно одинакового развития слоистости, связанной с процессом осадкообразования и сланцеватости, появившейся вследствие давления. Параллельная ориентировка минералов может однако возникнуть, как сказано выше, и в породе, образовавшейся из расплавленной массы, благодаря движению, т. е. течению еще не совсем застывшей магмы. Оказывается, для кристаллических сланцев не пригоден также нормальный критерий определения возраста, так как слоистое строение повидимому совершенно не зависит от возраста верхних и нижних «пластов».

Рассмотрение явлений метаморфизма с физической точки зрения

До настоящего момента ход наших рассуждений был чисто геологическим, так как он исходил из наблюдений над видимыми условиями и из их сравнения с известными нам явлениями. Очевидно однако, что с одним этим методом мы не уйдем далеко, если нам приходится переносить образование кристаллических сланцев в интеркристалльную область, которую мы не можем непосредственно видеть. Мы можем только вообще сказать, что, поскольку на глубине коренным образом изменяются два фактора — температура и давление, там будут совсем иные условия, чем на поверхности. Ясно, что здесь необходимо призвать на помощь физико-химические методы, в конечном счете эксперименты, касающиеся поведения определенных веществ при высоком давлении и высокой температуре. Как уже сказано выше, эта замена другим методом не является полноценной, так как масштабы природы (температура в несколько тысяч градусов и давление в десятки тысяч атмосфер) все же на опыте не достижимы, а обычная экстраполяция данных, полученных экспериментальным путем, но с измененными масштабами, часто оказывается сомнительной, а порой просто неверной. В конце концов и здесь мы имеем только точки

опоры, которые необходимо увязывать с непосредственным наблюдением.

Кристаллические сланцы отличаются от других групп пород следующими свойствами: 1) кристаллическое строение, 2) упорядоченность текстуры, т. е. более или менее ясная параллельность составных частей, 3) кристаллообластическая структура (см. выше). Таким образом оказывается, что здесь можно, с одной стороны, провести параллель, а с другой — сделать противопоставления двум другим группам пород.

Повышение температуры и давления являются таким образом факторами, которые влияют на превращение нормальных пород в кристаллические сланцы. Закон температур в форме, применимой к специфически геологическим условиям, можно выразить так: при повышении температуры образуются те соединения (минералы), которые при своем образовании поглощают теплоту (и наоборот). Что касается повышения давления, то здесь решающее значение имеет закон объемов, т. е. тот факт, что высокое давление благоприятствует образованию минералов с меньшим молекулярным объемом (в частности, значит, с более высоким удельным весом).

Отсюда оказывается, что можно по комбинации минералов в кристаллических сланцах делать заключения об условиях температуры и давления при их образовании. На основании этих чисто физических соображений Бекке (Becke) и Грубенманн (Grubenmann) установили расчленение кристаллических сланцев на три группы в зависимости от глубины их образования, причем для каждой оказываются характерными определенные комбинации минералов. Здесь следует отметить, что надо различать в отношении давления два случая: 1) давление всестороннее (гидростатическое), возникающее благодаря налеганию мощных масс породы, 2) давление по определенным направлениям (стресс), проявляющееся особенно в процессе горообразования.

Нижняя — катазона отличается преобладающим значением теплового закона перед объемным, т. е. процессы видоизменения протекают при отрицательном «тепловом оттенке» (Wärmetönung), т. е. поглощении теплоты (Wärmeabsorption).

Всестороннее давление в этой зоне очень сильно, направленное же давление не так значительно, так как оно в очень пластичном материале должно перейти во всестороннее. Типичные для этой зоны минералы следующие: известково-натровые полевые шпаты, калийные полевые шпаты, пироксены, некоторые гранаты, силлиманит, оливин, кордиерит и т. п. Типичными породами для этой зоны являются гнейсы, характеризующиеся названными составными частями, а затем мраморы, эклогиты (оливино-гранатовые породы) и т. п.

Залегающая выше мезозона отличается несколько меньшей температурой и меньшим гидростатическим давлением. Направленное давление значительно сильнее, поэтому объемный закон играет здесь особенно важное значение. В остальном эта зона имеет переходный характер и во многом не особенно выделяется. Но все же она содержит характерные минералы. Вместо известково-натровых полевых шпатов появляется комбинация альбит-эпидот, вместо пироксена — роговая обманка, вместо силлиманита — дистен. Калийные

слоды играют выдающуюся роль по сравнению со встречающимися в более глубокой зоне магнетитовыми слюдами. Для этой зоны наряду с некоторыми гнейсами, характеризующимися вышеприведенными минералами, характерными являются слюдяные сланцы.

Верхняя — элизона отличается умеренной температурой, меньшим гидростатическим, но относительно более высоким направленным давлением. Объемный закон имеет здесь также преобладающее значение; особенно же характерно образование содержащих воду силикатов (хлорита, серпентина и т. д.). Хлоритовый сланец, фидит и т. п. имеют здесь максимальное распространение. Механические изменения породы, т. е. раздробление, образование сланцеватости от давления, развальцовывание (*Auswalzung*) имеют здесь перевес над химическими. Бекке и особенно Ф. Э. Зюсс (F. E. Suess) подчеркивают, что иногда породы катазоны попадают в элизону и там совершенно преобразовываются. В таких случаях можно говорить об обратном метаморфизме.

Кристаллическое сложение описанных пород до известной степени разъясняется этим расчленением, построенным на физической основе. Оно не представляет собою ни возрастного явления¹, ни реликта первоначальной коры затвердевания на земле, но является только доказательством изменения состояния пород. Видимые в настоящее время на земной поверхности катазоны должны были образоваться при совсем других условиях температуры и давления, чем те, которые царят здесь сейчас, т. е. изменение произошло внутри земной коры. Их появление указывает, разумеется, в широчайшем смысле, на вертикальные движения частей коры. Но мы все же покажем в одной из дальнейших глав, что надо быть чрезвычайно осторожными с геологическими выводами, делаемыми на основании этого положения.

Параллельная текстура этих пород является сама по себе проблемой. Здесь не место приводить разные теории относительно их возникновения; надо только вкратце упомянуть, что Бекке видит в ней следствие давления, основываясь на том, что минеральные компоненты в направлении давления обнаруживают явления растворения, тогда как перпендикулярно к нему (т. е. в сторону уступания) кристаллизация идет быстрее (принцип Ризке). При этом конечно должны возникать пластовые и листовые минералы с параллельной ориентировкой. Зандер (Sander) недавно показал, что микроскопическая картина многих кристаллических сланцев не соответствует этому правилу, но что плоскости, вдоль которых располагаются пластовые или листовые минералы, в известном смысле подготовлены напластованием, сланцеватостью и т. п. («отраженная кристаллизация» — *Abbildungskristallisation*). Зандер показал, что мы имеем в пространственном расположении и образовании составных частей необычайно важный критерий для того, чтобы различить, имела ли место деформация, вследствие давления до, во время или после кристаллизации. На это уже давно указывалось при обсуждении глубинных пород. Здесь можно привести такой пример. В складчатом гнейсе на изгибание складок указывают листочки слюды.

¹ Т. е. не обусловлено большой древностью кристаллических сланцев.

Когда отдельные кристаллы слюды оказываются согнутыми, то очевидно, что они уже выкристаллизовались прежде, чем порода была сложена в складки. Если же они, наоборот, образуют полувончик из отдельных недеформированных кристаллов, который следует за изгибом складки, то очевидно последняя уже существовала до начала их кристаллизации. Ранее образовавшиеся поверхности, которым следует кристаллизация, являются поверхностями движения, вдоль которых имели место до или после метаморфизации дифференциальные смещения частиц породы.

Мы еще возвратимся к этим важным явлениям; здесь надо только указать, что давление, и в частности направленное давление, или стресс, или, еще вернее, движение частиц пород по отношению друг к другу, т. е. «движение частиц в текстуре» (по Зандеру) имеет колоссальное значение для образования кристаллических сланцев, но что их отношение к кристаллизации, а следовательно и процессу метаморфизма может быть многообразным. Поэтому кристаллические сланцы не представляют собой единства и должны совершенно иначе толковаться среди других пород в отношении их положения во времени и пространстве. Только тогда, когда мы знаем глубину образования кристаллических сланцев, возможно делать какие бы то ни было выводы относительно их отношения к окружающим породам. Это положение выявлялось очень медленно. Мы еще увидим, что и сейчас наличие самых трудных и темных проблем геологии обуславливается именно неясностями в толковании кристаллических сланцев.

Ультраметаморфизм

Мы установили, что определенная порода, т. е. поддающийся аналитическому определению агрегат минералов, может получить совсем другой вид, совсем другую «факцию» благодаря изменившимся условиям температуры и давления, а также перегруппировке комбинаций минералов. Из глинистого сланца в эпизоне образуется филлит, в мезозоне — слюдистый сланец, а в катазоне — гнейс. При этом не обязательно, чтобы менялся химический состав, т. е. изменения могут носить чисто физический характер.

В действительности однако такие видоизменения встречаются редко. Во-первых, почти всюду имеется известное количество воды, которая в глубине бывает в перегретом состоянии, а потому является особенно активной в смысле растворения и выделения составных частей. Вследствие этого уже возможны некоторые изменения вещества. Но еще важнее то обстоятельство, что породы, попавшие в катазону, всегда оказываются в сфере воздействия расплавленных масс и там в них могут проникнуть или сами магмы или выделяющиеся из них газы. Надо следовательно учитывать, что такие породы могут быть или совершенно расплавлены и поглощены расплавленной массой — магмой, или так ею пропитаться, что совершенно изменить свой первоначальный состав. На эти возможности было уже указано при обсуждении дифференциации (стр. 59) и вопроса об образовании пространства (стр. 65). Сфера действия подобного обмена веществ, само собой разумеется, гораздо больше в катазоне,

чем при обычной метаморфизации на контакте с расплавленными вулканическими массами в верхних зонах. И действительно, в течение последних десятилетий удалось установить, что там, где эти глубинные породы бывают нам доступны, наблюдается широкое распространение регионального переплавления. При этом возникают смешанные породы, которые хотя и содержат первоначальные компоненты осадочных пород, но иногда, например, благодаря добавлению гранитного материала, почти достигают химического состава гранитных масс. Первоначальный характер таких мигматитов (смешанных пород) может быть вообще утрачен. Может также случиться, что ранее существовавшие изверженные породы будут снова расплавлены и в этом более легко подвижном состоянии начнут снова свое движение вверх, свою интрузию. Весьма ясно, что в этом случае могут возникнуть совершенно парадоксальные явления. Например породы, которые несомненно старше, чем обрамляющие их, могут благодаря новому плавлению вновь в них внедриться; эруптивные жилы, проходящие через гранит, могут потом благодаря плавлению гранита, вновь им пересекаться.

Первый пролил свет в загадочную область ультраметаморфизма финский исследователь Седергольм (Sederholm). Он опубликовал ряд тщательнейших специальных съемок берегов Финского залива, где в бесчисленных шхерах породы гладко отшлифованы льдом. Эти специальные съемки фиксируют многообразие пород, образовавшихся благодаря вторичному переплавлению (анатексис или палингенез). Здесь перед нами несомненно открывается одна из глубочайших из вообще известных нам зон земной коры, область, которая многократно погружалась так глубоко, что даже породы, первоначально отложившиеся суперкрупно, были также переплавлены.

По крайней мере частично достигнутая в наше время расшифровка этих явлений научила нас тому, что вряд ли является вероятным, чтобы первоначально застывшая кора могла где-нибудь сохраниться на земле; она почти всюду должна была измениться путем анатексиса и перекристаллизации. В глубочайших частях континентальных глыб, которые например доступны наблюдению в Швеции и Финляндии, много раз имело место горообразование, и образование смешанных пород (мигматитов). Но чем ближе мы подходим к концу этого периода, тем слабее воздействие глубин. Наиболее древние части (свионская и ботническая формации, лептитовые гнейсы) обнаруживают вследствие бесчисленных проплавлений пранитами неясные структурные черты и довольно беспорядочное, запутанное залегание суперкрупных пород, согласные включения ортогнейсов и смешанных пород и оригинально изгибающееся расположение полос различных пород. В более молодых — калевийской и ятулийской формациях — огнейсование становится уже слабее; часто можно узнать первоначальные структуры пород; можно различать прежние песчаники, конгломераты, сланцы и известняки, которые, так же как и в более молодых складчатых горах, образуют муьды и антиклинали. Наконец в наиболее молодых докембрийских песчаниках так называемой ютнийской формации залегание становится спокойным; степень метаморфизма меньше: принадлежащие сюда граниты имеют зернистость без определенной

ориентировки и несогласно внедрены в окружающие породы. Наиболее молодые члены докембрия обнаруживают постепенное приближение к условиям земной поверхности; благодаря прогрессирующему поднятию эта область была выведена из условий образования пород катазоны.

Возраст движений кристаллических сланцев

Кристаллические сланцы не являются таким образом первоначальной корой застывания земли; но, несмотря на это, опыт учит нас, что они господствуют в наиболее глубоких частях земной коры и доступны только там, где они выступают на поверхность благодаря последующему подъему и сносу верхних зон. Исключения, о которых я буду говорить позже, обусловлены особыми обстоятельствами. Вообще кристаллические сланцы преобладают в древнейших, докембрийских пластах, как мы видим на классическом примере Фенноскандии.

Здесь обнаруживается одно чрезвычайно важное явление. Древнейшие, измененные метаморфизмом части Фенноскандии, хотя и были потом подняты, но уже больше не сминались в складки. Более молодые, менее метаморфизированные, но сильнее смятые в складки породы залегают полосами между старыми массивами («глыбами»). Но и они так крепко спаяны друг с другом последующими интрузиями расплавленной массы, что дальнейшие движения вряд ли были возможны. Послекембрийские породы залегают совершенно ровно и не нарушенно на подстилающей их выровненной эрозией поверхности твердого цоколя, поэтому оказывается, что эта область, после своего подъема из катазоны на поверхность, несомненно была сушей. Здесь находится первоначальное ядро европейского материка, который уже существовал, как таковой, в то время как в средней и южной Европе еще расстилался океан. Теперь уже можно сказать, что на земле никогда не бывает иначе. Где породы катазоны, интенсивно метаморфизованные, переживши складкообразование, выступают на поверхности, там мы имеем древнейшие стабильные области с преимущественной тенденцией к подъему и обладающие большой жесткостью, т. е. большим сопротивлением последующей складчатости. Ультраметаморфические породы и кристаллические сланцы катазоны таким образом не являются первичной корой застывания земли, но зато оказываются первичным цоколем континентов, благодаря образованию которых последние приобрели свой характер. Можно сказать континент имеет одинаковый возраст с метаморфизмом своего цоколя. Фенноскандия, ядро Европы, относится вследствие этого к докембрийскому возрасту и представляет собою с тех пор преимущественно сушу.

Это стабильное, спокойное состояние, сопротивление образованию складок и разломов вследствие порообразующих процессов, стоит в резкой противоположности с историей этих пород до их кристаллизации, в течение которой наблюдаются интенсивные движения, даже движения насквозь проникающие эти толщи вплоть до мельчайших частиц. Это становится еще яснее, если сравнить скандинавские условия с условиями других частей света.

Крупные складчатые горы альпийского типа противопоставляются условиям стабильных массивов, не говоря о том, что более молодая складчатость является значительно более интенсивной и, как мы дальше покажем, может повести к горизонтальным перемещениям свит пород на протяжении десятков километров. Мы прежде всего устанавливаем, что нарушения залегания охватывают не только относительно поверхностную зону, верхнюю структурную зону (Oberbau), но значительно более мощную часть всей земной коры в целом, так как в этой альпийской структуре принимают участие кристаллические породы самых разнообразных типов. Характерным часто является также наличие большого количества интеркристалльных и вулканических пород в строении гор.

Здесь мы подходим вплотную к основной проблеме альпийского типа гор, которая теснейшим образом связана с проблемой кристаллических сланцев. Эта проблема почти в той же самой формулировке возникает как для образовавшихся на грани силура и девона каледонских гор (каледонид) Норвегии и Шотландии и для каменноугольных гор центральной Европы, так и для молодых третичных Альп. Интересно при этом, что, несмотря на идентичную постановку вопроса, ответ на него в этих областях в настоящее время получается совершенно различный.

Если исходить из примера каледонских гор Норвегии, то как основная проблема может быть сформулировано следующее положение. Здесь на больших протяжениях залегают кристаллические породы, имеющие характер гнейсов, поверх неизменных, богатых ископаемыми, силурийских осадков. На основании вышеприведенного расчленения пород по глубинным зонам, здесь можно было бы дать следующее решение: кристаллические породы являются частями скандинавской глубинной структурной зоны (Tiefbau), т. е. древнейшими породами глубинного яруса, которые были подняты мощными горообразовательными движениями и надвинуты на верхние пласты. Это и было первоначальным толкованием, из которого как следствие вытекали горизонтальные надвиги (Verschiebungen) по 50—60 км. Сейчас однако пришли к несколько иному пониманию. Было выяснено, что в кристаллических породах многократно обнаруживаются, подвергшиеся изменению, подстилающие их, некристаллические осадочные породы, которые благодаря внедрению расплавленных масс получили иной облик. Далее было установлено, что это внедрение расплавленных масс имело место при мощных тектонических движениях (складкообразование, надвиги) свит осадочных отложений. Таким образом была доказана условная ценность разобранного выше расчленения на глубинные яруса: физико-химические условия возникновения кристаллических сланцев не являются просто функцией глубины, но зависят от состояния движения преобразующихся комплексов. Благодаря внедрению расплавленной массы и горообразовательным процессам температура и давление вблизи земной поверхности могут настолько подняться, что вызовут появление кристаллических пород даже там, где при нормальных, спокойных условиях имеют место лишь небольшие видоизменения. Комбинация теплоты и движения таким образом имеет чуть ли не большее значение, чем комбинация теплоты и ста-

тического давления, и некоторые гнейсы нельзя рассматривать просто как древнейшие породы, так как они могли образоваться в моменты горообразовательных фаз и при наличии расплавленной массы, даже на относительно высоком уровне.

Это основное достижение в наших знаниях конечно коренным образом изменило представление о строении каледонских гор. Прежде всего невероятные по своим размерам горизонтальные надвиги были сведены до более скромного масштаба. Повидимому с применением подобного принципа можно будет разъяснить многие неясности также и в строении шотландских гор.

Я могу здесь только отметить, что условия, имеющиеся в каменноугольных горах центральной Европы и в Альпах, не раз вызывали настоятельную необходимость подобной постановки вопроса. И здесь во многих случаях возникает вопрос, не легче ли истолковать некоторые гнейсы, которые залегают непосредственно рядом с мало изменившимися суперкрупными породами или поверх них, как результат складкообразования при одновременном проникновении расплавленной массы, как «синтектонические». Такой случай мы имеем например на восточном краю Богемского массива в Моравии, где среди девонских пород, которые были смяты в складки в начале каменноугольного периода, находятся гнейсы, которые одними истолковываются как интрузия расплавленной массы в момент складкообразования, а другими — как пассивно надвинутые пласты кристаллического фундамента.

Подобным же образом ставится вопрос в Пеннинских (Валлисских) Альпах, о которых мы будем говорить еще дальше. Там кристаллические и более молодые породы интенсивно смяты в складки и были перекристаллизованы еще во время складкообразования Альп. Метаморфизм и кристаллизация частью являются еще более молодыми, чем складчатость. В тектоническом строении пород обнаруживаются также лежачие и опрокинутые складки. Складкообразование повидимому имело место при высокой температуре и высоком давлении, т. е. на довольно значительной глубине. Перед нами здесь более глубокая зона складчатости. Мы здесь не можем вдаваться в дальнейшее исследование вопроса, являются ли находящиеся внутри складок гнейсограниты древними породами, лишь пассивно смятыми в складки вместе с другими, или они происходят из магмы, которая интродировала в пласты во время складкообразования. В Альпах сейчас признается правильным первое, а в горных хребтах Норвегии и в каменноугольных горах центральной Европы для подобных случаев имеются указания на правильность второго допущения. Прежде всего важно то обстоятельство, что здесь кристаллические породы, а также облекающие их более молодые пласты, в период складкообразования были приведены в крайне подвижное состояние или, по выражению Зандера, испытали «мобилизацию текстуры» («Mobilisierung des Gefüges»), породы были охвачены движением вплоть до микроскопических элементов; собственно каждая плоскость сланцеватости стала поверхностью движения. Зандер показал, что эти мельчайшие движения частиц суммируются в большие, видимые, горизонтальные движения. Внутреннее дифференциальное движение (*Durchbewegung*) заканчивается кристаллизацией, видоизменившиеся продукты кото-

рой приурочиваются к создавшимся плоскостям движения (отраженная кристаллизация — Abbildungskristallisation). Эти открывающие новые пути исследования дают нам представление о механизме горообразования на глубине и одновременно проливают новый свет на образование кристаллических сланцев; последние оказываются подвижными горизонтами с микроскопическим перемещением отдельных структурных частиц, которые однако, суммируясь, дают в результате более крупные движения. Вместе с тем здесь оказывается связь с выше рассмотренными условиями, толкование которых получает таким образом существенные дополнения. К этому мы в последней главе еще вернемся.

Образование кристаллических сланцев представляет собою явление, которое под высоким давлением и при высокой температуре может происходить при различном исходном материале. Оно связано с более глубоким ярусом земли, хотя в отдельных случаях глубина его может и измениться. Сильное внутреннее движение в породе до кристаллизации, частично связанное с плутоническими процессами, является повидимому предварительным условием этого явления. Напрашивается мысль, что процесс образования кристаллических сланцев является глубинным аналогом складкообразования на поверхности и «стилем движения» более глубокого яруса земной коры. К этому мы еще вернемся позднее. Во всяком случае кристаллизация, а также внедрение и застывание глубинных пород, оказывают сильное действие на земную кору в смысле придания ей жесткости. Кристаллический цоколь представляет собою род защитного «основания» (Basalschutz) против позднейших орогенезов. Этот факт, к которым мы должны иметь дело впоследствии, далеко еще не общепризнан, как это вытекает из того, что многие из гнейсов, участвующих в альпийской складчатости, рассматриваются как древние породы.

Если ответ во многих случаях оказывается резко различным в самом основном, то причина этого лежит часто в недопустимой схематизации. Не каждый гнейс имеет древнее происхождение, но и не каждый является юным. Однако в складчатых горах сложного строения часто оказывается возможным установить различие только путем очень трудной детальной работы.

Нам необходимо было обсудить здесь эту проблему, чтобы показать, что метаморфизм в горах альпийского типа обычно заходит дальше, чем в мало складчатых массивах, и участие глубинных пород играет здесь преобладающую роль, что однако не дает безусловного ключа к определению состояния глубинной зоны до складкообразования, так как эти глубинные породы частью несомненно являются лишь продуктом самого складкообразования.

Положение кристаллических сланцев во времени и пространстве

Вышеприведенные условия ясно показывают, что в отношении кристаллических сланцев нельзя обойтись разобранными ранее основными принципами геологического мышления, и что слишком схематическое применение этих принципов приводит к ошибочным выводам, которых можно избежать только, если идти окружным путем с применением физических методов исследования. Этот путь развития

необычайно характерен для геологического исследования с точки зрения теории познания, так как здесь мы опять имеем дело со специфической двойственностью времени и пространства, которая является причиной усложнений. В противоположность двум другим группам пород, у кристаллических сланцев образование породы нужно отличать от ее преобразования.

Оба эти явления различны во времени и пространстве. Для образования породы решающими являются принципы отчасти суперкrustального (паралнейсы), а отчасти интеркrustального залегания (ортонейсы), для преобразования же — только принципы интеркrustального залегания, но в известных случаях, а именно при переплавлении и внутреннем дифференциальном движении (*Durchbewegung*), это несколько изменяется. Таким образом ни разграничением верха от низа, ни наблюдением над внедрением изверженных пород нельзя безошибочно разрешить вопроса о возрасте пород; так как здесь отсутствуют ископаемые, то повидимому имеется только один верный критерий: присутствие более древних пород в виде включений в более молодых (конгломерат или глыбы в более юной расплавленной массе). Само собою разумеется, что такие случаи редки, а потому результаты еще часто бывают неопределенными. Однако большой успех заключается в том, что в настоящее время является возможным установить возрастное соотношение между движением (складкообразованием) и кристаллизацией на основании микроскопической картины, а физические условия преобразования (давление и температуру) — по комбинации минералов. Я хотел бы еще подчеркнуть, что последний пункт, т. е. физические условия, нельзя всецело отнести за счет глубины образования. Что касается абсолютной глубины в километрах, хотя бы катазоны, то по этому поводу у нас еще не установилось твердого критерия; возможно даже, что эта зона не представляет собою концентрической оболочки земли, но, в зависимости от глубины нахождения плутонической расплавленной массы в цикле земной коры, она может начинаться то выше, то глубже.

Кажущаяся парадоксальность кристаллических сланцев начинает в настоящее время разъясняться: эти породы не противоречат основным положениям геологической мысли о времени и пространстве, но они их расширяют учетом обстоятельств, которые доступны не непосредственному наблюдению, а физически обоснованному и геологически истолкованному эксперименту.

Геологическое понятие о времени

Абсолютное исчисление времени

Основные предпосылки

До сих пор мы рассматривали методы истолкования документов истории земли с точки зрения их ценности для генетического объяснения современной нам картины земной поверхности.

Как мы видели, порядок появления этих «документов» дается законом залегания. Но установленная таким образом последовательность во времени имеет лишь условную ценность, так как она, во-первых, относительна, а во-вторых, может быть установлена только для данного места, т. е. ее нельзя безоговорочно применять к большим частям земной поверхности. Ведь она в сущности основывается на физико-химических условиях, которые, так же как и их последствия, не раз повторялись. Надо также отметить, что различные физико-географические условия приводили к сходным конечным результатам, как например при образовании континентальных и береговых отложений. Эту конвергенцию (схождение) результатов различных процессов развития необходимо также иметь в виду.

По неорганическим документам, т. е. по самим породам, в большинстве случаев оказывается возможным установить только местные соотношения: «старше или моложе»; получить же более точные данные является невозможным, так как продолжительность процессов образования и разрушения пород еще не дает нам единиц времени вследствие того, что эти процессы зависят от самых различных факторов.

В качестве примера укажем на речную эрозию, сила которой зависит от уклона, от количества воды и от твердости речного дна. Например, если бы мы пожелали исчислить на Ниагаре по условиям настоящего времени, т. е. по ежегодному изменению порога водопада, сколько времени потребовалась реке, чтобы прорезать длинное и глубокое ущелье, то при этом мы должны сделать молчаливое допущение, что количество воды было все время одинаковым. Конечно это не может быть безупречно верным. Мы знаем в центральной Германии глубочайшие долины, по дну которых протекает только небольшой ручеек; совершенно несомненно, что этого количества воды недостаточно для того, чтобы углубить или заново промыть такую долину. Следовательно к моменту образования долины количество воды было конечно больше¹. Скорость речной эрозии не является поэтому величиной постоянной, но изменяется по времени и зависит от многих

¹ Cp. Salomon. Tote Landschaften und der Gang der Erdgeschichte. Sitzungsber. Heidelberger Ak. d. W. 1918.

факторов. Следовательно точное определение времени было бы возможно, если бы мы могли точно установить все эти факторы. Но это очень редко удается.

Так же обстоит дело с осадкообразованием (седиментацией). Теоретически конечно возможно вычислить поступление в единицу времени материала, из которого образуется порода, особенно там, где речь идет о закрытых водных бассейнах. Но подобное вычисление не достигает цели, так как поступление колеблется и должно колебаться в зависимости от фации, глубины, близости суши, климата и времен года.

Кроме того нам часто приходится иметь дело с породами органическими, например с образовавшимися при участии животных. Относительно скорости возрастания мощности таких пород не может быть сказано почти ничего. В морских отложениях бывает еще, что границы между пластами представляют собою перерывы, т. е. соответствуют тем промежуткам времени, когда вообще не происходило образования отложений. Исчислить продолжительность таких перерывов конечно невозможно.

О том, что осадкообразование происходит с совершенно различной быстротой, мы можем заключить например по тому, что нижний карбон в западной части Верхней Силезии имеет мощность 4 000 — 5 000 м, тогда как те же отложения в восточной Верхней Силезии выражены всего какими-нибудь несколькими сотнями метров известняков, причем эти образования, оказывается, даже более полно представляют стратиграфический разрез, чем значительно более мощные песчаники и сланцы на западе. Поэтому на основании неорганических документов удается обычно делать только косвенные выводы, имеющие лишь условное значение. Так например Ротплетц вычисляет, что самые верхние слои юры во Франконии, так называемые литографские сланцы, отложились очень быстро, так как здесь сохранились чрезвычайно нежные организмы (морские звезды). Следовательно здесь должно было иметь место быстрое образование осадков со скоростью примерно 5 см в год. Это значит, что 25-м толща сланцев должна была отложиться всего в какие-нибудь 500 лет. Как уже сказано, на основании таких частных случаев однако нельзя делать общих выводов.

Так же мало надежны вычисления возраста на основании содержания солей в море. Исходя из того допущения, что общее количество содержащихся в море солей образуется благодаря выщелачиванию пород на суше и переносу растворенных веществ реками в море, возраст земли был исчислен в 360 млн. лет. Здесь, во-первых, не верна сама предпосылка, так как уже в глубокой древности нам известна фауна, связанная с соленой водой, и во-вторых, здесь не учтено довольно значительное выделение соли из моря.

Но если документы истории земли сами по себе не дают точных указаний на время, то их все-таки можно сопоставить с другими процессами, которые могут быть точно измерены временем. При этом могут быть две возможности: 1) астрономические процессы повторяющегося характера, т. е. с известной периодичностью и определенным ритмом, и 2) физические процессы, протекающие с известной скоростью.

Положение земли по отношению к солнцу дает самую малую периодическую единицу — изменения климата в зависимости от времени года. Последнее может повлиять на осадочные образования и их характер в прибрежных частях умеренного и холодного поясов. Отсюда вытекает возможность эту малую единицу, т. е. год, установить по изменениям осадков.

Известный пример представляет собою составленная де-Геером хронология последней ледниковой эпохи, а именно времени отступления льда от Шонена до северной Швеции¹.

Де-Геер доказывает это следующим образом.

Когда на краю льда образуется водный бассейн, то в него в более теплое время благодаря таянию льда наносится большое количество частиц разрушенных горных пород; при этом сами частички более грубозернисты, так как быстрым движением воды могут быть унесены и более крупные зерна. В холодное время наносится минимум материала и осаждающиеся породы имеют очень тонкое зерно. Так возникают ленточные глины, которые состоят из правильного чередования летних — более грубозернистых — и зимних — более тонкозернистых — отложений. По подсчету слоев можно бывает установить, во сколько лет отложилась вся серия.

При применении этого метода трудность состоит в том, что мы не можем обычно сразу судить обо всей серии. Де-Геер справился с этой трудностью, суммируя отдельные подсчеты. Ему удалось доказать, что определенные более мощные и особенно тонкие пласты можно узнавать (отопределять) в разных пунктах, и что ленточные глины могут быть поставлены в связь с так называемыми «годовыми моренами», т. е. с отметками ежегодного отступления льда в Швеции.

Таким образом он пришел к заключению, что для отступления льда от Шонена до Скандинавских гор потребовалось около 10 000 лет. Другие наблюдения подобного рода позволили также измерить продолжительность промежутка, отделяющего от нашего времени пребывание льда в норвежских горах, составляющего около 8 700 лет. Предел приложению этого метода положен тем, что здесь речь идет о чисто местных отложениях, не имеющих очень широкого распространения. Ленточные глины более древних ледниковых эпох плохо сохранились, почему с помощью этого метода и не удастся вычислить всю продолжительность ледникового времени.

Для морских отложений, особенно более древних периодов этот метод совершенно непригоден, во-первых, благодаря недостаточности данных, а во-вторых, потому что климатические влияния сглаживаются в глубоких водах, почему и смена времен года не оставляет ясных следов. Но и там часто наблюдается известная периодичность в образовании отложений, что напоминает о влиянии климатических условий. Так Б. Помпецкий (B. Pompecky) пытался объяснить влиянием климата равномерную смену известняков и мергелей в белой юре в Швабии (фиг. 1). Но здесь с самого начала было ясно, что допущение годовых изменений осадкообразования является

¹ См. об этом Woldstedt. Das Eiszeitalter. Stuttgart. 1930.

невероятным, и Помпецкий предположил, что каждый комплекс известковистого и глинистого слоев соответствует климатическому периоду в 35 лет, вероятность которого была установлена Брюкнером. При этом допущении продолжительность периода белой юры β ограничивается поразительно коротким временем в 3 000 лет. Этот пример уже показывает, как ненадежны здесь такие допущения. Мы не имеем никаких достаточных поводов для того, чтобы устанавливать для такой отдаленной эпохи, как верхняя юра, 35-летние периоды, которые и для настоящего времени не являются безусловно достоверными: но иногда можно прийти к более точным результатам, если рассматривать не мелкие астрономические явления ритмического характера, а гораздо более крупные периоды. Здесь прежде всего возникает вопрос о трех факторах, каковыми являются:

1. Прецессия равноденствия, которая обуславливается колебанием земной оси; земная ось описывает при этом острый конус в 20 700 лет.

2. Наклон эклиптики, который тоже подвержен некоторым изменениям и колеблется между 22° и $24\frac{1}{2}^\circ$. Период колебаний охватывает 40 400 лет.

3. Эксцентриситет земной орбиты, т. е. разница в приближении земли к солнцу в перигелии и афелии. Эта разница, которая сейчас не очень велика, повидимому периодически увеличивается и уменьшается; здесь принимают среднюю периодичность в 91 800 лет.

Астрономические крупные периоды могут иметь некоторое влияние на орогенетические процессы. Эта мысль была разработана американцами, особенно Блиттом (Blytt), которые полагали, что эксцентриситет земной орбиты обуславливает изменения в силе притяжения земли солнцем, вследствие чего периодически могли усиливаться напряжения в земной коре и это может быть приложено для объяснения периодов горообразования. Если эту мысль совсем и нельзя отвергнуть, то во всяком случае до сих пор еще не удалось в этом направлении получить законченной картины, так как предпосылки для корреляции еще пока ничтожны.

Значительно важнее, чем изменение силы притяжения, оказывается обусловленное всеми тремя явлениями увеличение или уменьшение количества излучений, попадающих с солнца на землю. Кёппен (Köppen) и Вегенер¹ попробовали на основании вычислений сербского математика Миланковича рассчитать количественные изменения излучений в последние 650 000 лет и пришли к очень интересным результатам. Оказалось, что за это время насчитывается одиннадцать периодов охлаждения. Подобного рода изменения климата несомненно должны отразиться на процессах образования пород, так что эти большие периоды несомненно должны были иметь большее значение для документов истории земли, чем краткие 35-летние или одногодичные периоды. И действительно Зёргель (Soergel)² показал, что геологические данные относительно процессов сноса и отложения во время ледникового периода указывают на одиннадцатикратную смену более теплых и более холодных эпох; таким образом

¹ Die Klimate der geolog. Vorzeit, Berlin, 1924.

² Die Gliederung und absolute Zeitrechnung des Eiszeitalters. „Fortschritte der Geologie und Paläontologie“, H. 13, 1925.

в этом случае получается связь между исчислением времени абсолютным — астрономическим и относительным — геологическими методами.

Поскольку периодичность и число повторений установлены обеими сериями наблюдений, то надо полагать, что корреляция, т. е. в данном случае абсолютное измерение времени, логически безупречна.

Для более далекого прошлого эти методы уже не годятся, так как мы не можем до сих пор вести слишком далеко назад астрономические вычисления, также и потому, что в третичном периоде неизвестны точно установленные эпохи охлаждения. Далее следует также подумать о том, что, делая экстраполяцию, охватывающую последние 650 000 лет, мы исходим из современных нам изменений наклона эклиптики и эксцентриситета земной орбиты, но мы не можем утверждать, что астрономические ритмы и в глубокой древности были такими же, как и теперь. К этому вопросу нам еще придется возвратиться.

Физический метод

Единственный самостоятельный процесс, протекающий с одинаковой скоростью, который, насколько нам до сих пор известно, не зависит ни от каких воздействий извне — это радиоактивный распад атомов. Например из урала возник целый ряд новых элементов, сюда в конечной стадии относится урановый свинец (изотоп свинца) и гелий. Из тория также получаются продукты превращения, среди которых мы тоже находим и гелий в виде остаточного продукта. Скорость процесса распада постоянна, так например из 1 г урана получается в течение года $1,27 \cdot 10^{-10}$ уранового свинца.

Таким образом, если в урановом минерале, относительное время образования которого нам известно, оказывается некоторое количество свинца и гелия, то при наличии некоторых предположений, допустимо заключение, что это количество появилось уже после образования минерала благодаря распаду атомов. При этом оказывается возможным вычислить по отношению $\frac{\text{уран}}{\text{свинец}}$ или $\frac{\text{уран}}{\text{гелий}}$ продолжительность времени, истекшего с момента образования минерала, в частности с момента застывания магмы, из которой он выделился.

Содержание тория может также быть использовано аналогичным образом¹. Ясно, что с логической стороны этот метод сам по себе безукоризнен. Неправильность зависит только от того, что часть гелия может улетучиться, благодаря чему мы получим меньшее число для определения времени, или от того, что часть свинца может оказаться первичной, и это поведет к преувеличению данных о вре-

¹ По Холмсу (Holmes) возраст минералов t может быть исчислен по следующей формуле:

$$t = \frac{\text{He}}{\text{U} + 0,29 \text{ Th}} \cdot 8,5 \text{ млн. лет,}$$

где U и Th дают процентное содержание урана и тория, а He — объем гелия в 100 г минерала. Использование летучего гелия для измерения времени во всяком случае остается под вопросом.

мени. В конце концов этим методом мы можем только получить порядок величин, что уже само по себе конечно достаточно ценно.

Возраст некоторых геологических систем, определенный по урано-свинцовому (UPb) методу и по гелиевому методу (He), приведен в учебнике геофизики Борна (1920 г.).

	Млн. лет
Плиоцен	1,6 (He)
Миоцен	6,0 (He)
Палеоген	25,0 (He) по Холмсу 26,0
Верхний карбон	320,0 (UPb)
Девон	340,0 (UPb)
Силур	450,0 (UPb)
Алгонкий	1200—1300 (UPb)

Продолжительность эр по Баррелло (Barrell) составляет примерно:

Четвертичная и третичная	55—65 млн. лет
Мезозойская	135—180 " "
Палеозойская	360—540 " "

Полученные таким образом цифры вполне совпадают с нашими геологическими представлениями. Надо заметить, что цифры, основанные на наличии телля, дают всюду по указанной причине меньшие, а потому и заведомо ложные, числа. Что касается алгонкия, т. е. времени жизни на земле, то здесь мы имеем порядок величин от 1 до 1,5 млрд. лет.

Но во всяком случае этот метод не свободен от возражения. В качестве примера можно указать на некоторые архейские граниты южной Норвегии, которые уже после их застывания были прорваны пегматитами. В этих пегматитах имеется урановый минерал брёггерит. Разные системы пегматитовых жил обнаруживают различные количества свинца, но внутри каждой системы количество его остается одинаковым. По наличию свинца можно заключить, что затвердевание пегматитов распределяется на промежуток времени в 200 млн. лет. Такая растянутость времени внедрения пегматитов несомненно является мало вероятной, так как геологические условия говорят за значительно более короткий промежуток времени¹. Поэтому приходится согласиться с Киршем (Kirsch), который подчеркивает, что время образования минерала и образования породы следует резко разделять. Несмотря на подобные, не совсем выясненные, противоречия, нельзя все же не признать, что этот метод является единственным путем к достижению абсолютного измерения времени, поскольку мы можем принять, что скорость распада атомов всегда и при всех обстоятельствах остается одинаковой, что в физике уже принято как теоретически обоснованный постулат. Этот метод и мне кажется более надежным, чем астрономический, в котором, теоретически по крайней мере, имеется один источник ошибок: положенная в основу единица времени базируется на скорости вращения земли вокруг солнца и вокруг своей оси. Мы не имеем гарантии, что эти процессы не изменялись во время хода истории земли. Напротив, мы можем с уверен-

¹ Эти данные взяты из статьи Кирша в „Forschungen und Fortschritte“, 1929, 1932. По вопросу основ метода можно указать книгу: G. Kirsch. Geologie und Radioaktivität. Berlin, 1928, J. Springer Verlag.

ностью сказать, что радиус земли уменьшился, и мы можем подозревать, что степень сплюснутости земли и распределение ее масс были несколько изменены. Но отсюда следует, что единица времени, хотя бы в девонском периоде, не соответствует в точности современной. Это положение приводит нас к другому следствию: мы устанавливаем, что абсолютное измерение времени имеет в геологии только условное значение. Для хода исторического развития существенным является период вращения вокруг солнца или вокруг своей оси, так как этими явлениями регулируются климат и большинство процессов внутри земной коры и на ней. Выражение же этих данных в абсолютных единицах времени должно было бы, наоборот, иметь подлинное значение.

Это положение нельзя упускать из виду, когда мы перейдем к существенно более важному для геологии относительному измерению времени, на котором собственно покоится вся хронология земли.

Относительные измерения времени

Петрографический критерий

Мы уже подчеркивали, что закон залегания должен лежать в основе каждого геологического подразделения времени. Но мною с самого начала было указано, что одного этого основного принципа недостаточно для установления шкалы времени. Измерение времени, основанное только на залегании, было бы мыслимо лишь при условии, если бы земля была покрыта мировым океаном (Panthalassa), т. е. связной гидросферой; при таких условиях отпали бы все фациальные различия между районами моря и суши, а также все пробелы, вызванные поднятием и погружением. С другой стороны, в этом случае седиментация, если не совсем прекратилась бы, то вероятно приобрела бы такой характер, при котором определение времени было бы затруднительным, да и самую слоистость было бы невозможно различать. Петрографический состав пласта сам по себе тоже не является критерием для определения возраста, что теперь уже всем известно, но это необходимо все же подчеркнуть, так как и сейчас нам часто приходится сталкиваться с подобным допущением. Там, где не имеется другого критерия для определения возраста, приходится все-таки часто еще отводить известное место особенностям пород.

Ведь некоторые наименования геологических систем, как например карбон и мел, произошли именно от такого понимания возраста и употребляются до сих пор, несмотря на то, что теперь уже всякий знает, что образование каменного угля возможно во все времена после появления богатой флоры на суше. В районах с более сложной тектоникой, как например в Альпах, где порядок залегания местами оказывается обратным (слои перевернуты) и где отсутствуют органические включения, еще и сейчас приходится обращаться к петрографической точке зрения. Что в данном случае явления конвергенции, т. е. повторения одинаковых условий, могут привести к неправильным выводам, подтверждается фактом часто имевшего место смешения верхнепалеозойских сланцев (Casannaschiefer) с мезозойскими бунднерскими сланцами (Bündner Schiefer), отлагав-

шимися в Западных Альпах при сходных условиях. Когда в Альпах ячеистый доломит, отличающийся пустотами от выщелоченных кристаллов соли, относится к триасу, богатый глауконитом зеленый песчаник — к гольту («средний мел»), а красный меловой мергель — к верхнему мелу (сенон), то это может быть справедливо для узко ограниченного района; если же эти представления перенести с Западных Альп в район Восточных Альп, то такое положение будет противоречить здравому смыслу, так как оно предполагает непрерывность фаций, которая оказывается невероятной для геосинклинали, т. е. для района беспокойного моря с сильными движениями дна, и которая также отвергалась теми же исследователями.

Но еще более шатким становится этот принцип, когда приходится устанавливать возраст кристаллических пород. Здесь породы могут образовать ряд по химическим признакам (преобладание калия или натрия и т. п.), но и это может быть пригодно только для ограниченного района. Если например сопоставляют граниты Борнгольма со сходными по химическому составу, но тектонически совершенно иначе выраженными породами южной Швеции, с другой же стороны, отделяют от них более молодые граниты южной Швеции, которые в тектоническом отношении напоминают борнгольмские, но отличаются от них по химическим свойствам, то подобное толкование явно недооценивает возможности первичных различий в магме, а также возможности химической конвергенции, которая зиждится на расплавлении или переплавлении глубинных пород.

Подобные же отношения наблюдаются в Богемском массиве. Так Б. Шейманн (B. Scheumann) установил в кристаллических породах Саксонии несколько типов, различающихся по химизму, которые должны соответствовать различным возрастным циклам. Особенно резко он разграничивает более древний докаменноугольный и более молодой каменноугольный (варисский) циклы интрузий. Более древний отличается преобладанием натрия, более молодой — калия. Однако, если принять такое определение возраста по химическим данным для одного ограниченного в размерах пункта достаточно обоснованным, то это все таки еще не дает права переносить этот факт на другие районы. Так например уже в Тюрингии нельзя установить богатства натрием пород более древней серии интрузивов. Гранулиты Саксонии, которые Шейманн относит к более молодой серии, появляются почти в идентичной форме в австрийском Вальдфиртеле, но там они несомненно не варисского, а более древнего возраста.

Необходимо чрезвычайно резко подчеркнуть недопустимость петрографического и химического критерия для определения возраста пород, так как в этом всегда был и есть сейчас один из главнейших источников ошибочных заключений. Для интеркрустальных пород необходимо всегда наряду с залеганием учитывать и фации, а последние могут при одновременности пород иметь сходный и даже идентичный вид. Это особенно справедливо для случая, когда более молодые глубинные породы возникли благодаря переплавлению более древних пород. Когда перед нами возникает такая возможность и многое говорит за подобное положение, тогда нечего удивляться химическому сходству пород различного возраста. В Шварцвальде,

а также и в Силезии имеются примеры, показывающие, что породы, время затвердевания которых разделено несколькими геологическими эпохами, все же имеют существенное химическое сходство.

Однако при всем подчеркивании недопустимости схематического толкованием у нас все-таки остается комплекс фактов, который дает нам в самых общих чертах фациальную характеристику эпох земной истории. Действительно каменноугольная система по всей земле выделяется своим богатством углем. Отложения соли и пустынные образования широко распространены в пермском периоде; часто встречаются в этих отложениях также некоторые осадочные руды (медь). Типичный писчий мел известен исключительно только из верхнего отдела меловой системы. Богатство бурым углем верхнетретичных отложений является поразительным по крайней мере для Европы. Но это впрочем не первичные, а вторичные явления, которые должны иметь какую-то причинную связь с историей земли, почему и должны обнаруживать более или менее ясные соотношения с этапами этой истории, а именно: с фазами горообразования. Гениальная попытка увязки этих явлений, сделанная Аррениусом и Фрехом (Arrhenius u. Fiech), может во многом быть ошибочной, но с методологической стороны она несомненно имеет крупное значение. Названные исследователи мыслили себе эту зависимость таким образом. Во время горообразования большие массы углекислоты попадали из недр земли в атмосферу. Благодаря этому ее способность поглощения тепловых лучей была усилена, а влажный и теплый климат в соединении с наличием больших количеств углекислоты, обуславливал бурный рост растительности, что создавало благоприятные условия для образования угля. В морях в это время могли скопляться громадные количества углекислоты извести. Впоследствии связывание углекислоты в морских известняках и в растительности вело к уменьшению ее в атмосфере. Поглощению и излучению теплоты уже ничто не препятствовало, и климатические условия изменялись, следствием чего являлось образование пустынь и наступление ледникового периода.

С физической и геологической точки зрения можно сделать некоторые возражения против подобной увязки явлений, но как опыт объяснения ритмически проявляющихся событий, она не теряет своего значения, так как она ищет соотношений между разнородными комплексами фактов, которые должны были в какой-то форме осуществляться. Фациальные явления представляют собой лишь второстепенные реакции на первичные охватывающие всю землю явления, представляющие их причины. Эти причины конечно можно было бы лучше всего использовать как хронологические даты, но здесь мы опять наталкиваемся на затруднения. Если бы мы фактически знали только несколько периодов горообразования, которые можно было бы указать для всей земли, мы конечно могли бы их считать наилучшими этапами для относительного исчисления времени. Фактически же дело обстоит иначе: каждый орогенез распадается на большое количество отдельных фаз, а последние большей частью носят чисто локальный характер, даже если указываются для далеко отстоящих друг от друга мест. Можно привести пример: Эд. Зюсс (Ed. Suess) был первым, кто указал на мировое значение несогласия задетания, которое имеет место поверх каменноугольных

отложений. Это несогласие могло бы представить собой границу между палеозойской и мезозойской эрами, но мы теперь знаем, что складчатость, предшествующая этому несогласию, проявилась в разное время в различных местах, а именно: между девоном и нижним карбоном — бретонская фаза; между верхним и нижним карбоном — судетская фаза; в верхнем карбоне — фаза Рудных гор и астурийская; в перми — заальская фаза.

К тому же например бретонское несогласие распадается на три подфазы.

Если бы мы следовательно захотели использовать несогласия как признак, указывающий время, то нам надо было бы сделать допущение того, что как раз требует доказательства, именно — абсолютной одновременности горообразования, причем для подразделений второго порядка мы встретились бы с непреодолимыми трудностями. Надо отметить, что этот путь установления непосредственного расчленения времени на основании несомненно первичных причин пока еще не используется и лишь в последнее время стали делать попытки в этом направлении. О деталях мы еще будем говорить ниже.

Биологическое исчисление времени

Мы уже видели, что эндогенная жизнь является первичной причиной смены документов истории земли: в конце концов каждое изменение обуславливается эпигенетическими или орогенетическими процессами; но все-таки оказывается, что возникшие таким образом неорганические документы недостаточны, как признаки, указывающие время (марки времени), так как в один и тот же период они регионально различны, а с другой стороны потому, что иногда они могут или даже должны в разное время давать сходные или одинаковые картины, так как возможности разнообразия неорганических образований не безграничны, а наоборот, укладываются в рамки фациальных условий.

Уже это обстоятельство показывает, почему гораздо большее качественное многообразие органического мира, которое в конечном счете связано с необратимым процессом развития жизни, дает гораздо более полезные и однозначные признаки для определения времени.

Мысль об использовании процессов органической жизни в качестве признаков времени основывается, разумеется, на постулате развития, но, что имеет большое значение для постановки проблемы, она оказывается древнее этого постулата. Можно даже прямо сказать, что теория эволюции осложнила впоследствии первоначально ясную мысль.

Биологическое исчисление времени основывалось сначала на чисто эмпирическом, совершенно безукоризненном наблюдении: В. Смит (W. Smith) в начале прошлого столетия указал, что в различных пластах английской юры встречаются друг над другом аммониты различных видов, так что каждый комплекс пластов отличается определенными видами, которые не встречаются ни выше, ни ниже. Это наблюдение было тщательно проверено Л. Бухом, Шлоттеймом и

другими в Германии, Кювье и Агассицом во Франции и было распространено на другие геологические системы. Всюду была установлена характеристика отложений с помощью руководящих ископаемых и показано далее, что в особенности является важным, что последовательность наложения отдельных форм животных во всех районах наблюдения являлась абсолютно одинаковой. Таким образом геология получила один из важнейших документов для определения времени, во-первых, потому, что органическая жизнь является неповторимой и таким образом затруднения, которые заключаются в повторении фаций, оказались обойденными и, во-вторых, потому, что органические документы не связаны с местом, как фации, но напротив, могут при благоприятных условиях в пределах одного периода времени широко распространяться по всей земле. Действительно дальнейшее исследование показало, что в разных местах встречаются не только одинаковые формы, но, что много важнее, и одинаковая последовательность форм, как например в юре Европы, на Зондских островах, в северной Сибири и т. п.

Подобное значение в качестве документов времени или руководящих ископаемых имеют, разумеется, прежде всего виды свободно передвигающихся животных, имеющие короткий период существования, наряду с которыми встречается гораздо большее количество длительно существовавших видов, безразличных с точки зрения определения времени, как например род плеченогих (*Lingula*), который уже в силурийский период обладал теми же признаками, что и сейчас.

На этом основании можно составить следующую схему времени:

Квартер (четвертичный период), ледниковый период и настоящее время.

Кайнозойская эра (третичный период). Характеризуется в общем наличием млекопитающих, а среди беспозвоночных — улитками (*Gastropoda*) и двусторчатыми моллюсками (*Pelecypoda*) такого типа, который чрезвычайно близок к современному. Из растений на первом плане стоят лиственные и хвойные деревья. Эта эра расчленяется на:

Плиоцен, Миоцен, Оligоцен, Эоцен, Палеоцен.

В нижних ярусах характерным признаком являются нуммулиты, группа одноклеточных простейших животных (фораминифер), которые достигают относительно значительных размеров.

Мезозойская эра (средневековые земли). В целом характеризуется пресмыкающимися; из беспозвоночных характерны головоногие (*Cephalopoda*), наиболее важная руководящая группа аммонитов. Из других групп животных обращают на себя внимание морские ежи, двусторчатые моллюски, брюхоногие и возрастающее количество плеченогих (*Brachiopoda*). Кораллы относятся к группе, которая близко стоит к более молодым группам (*Hexacoralla*). Млекопитающие совсем отсутствуют. Из растений имеются лиственные деревья только в более новых отложениях (верхний мел); кроме того флора состоит из хвойных и папоротников.

Три подразделения (геологические периоды) этой эры следующие:

Мел, Юра, Триас.

Палеозойская эра. Из позвоночных совершенно отсутствуют млекопитающие, а пресмыкающиеся ограничены только самой юной частью эры. Амфибии характерны только для верхних частей (карбон и пермь), тогда как рыбы появляются уже раньше. Из беспозвоночных животных важными руководящими формами для более молодых отложений эры (пермь, карбон, девон) являются примитивные аммониты (гозиатиты). Плеченогие (Brachiopoda) появляются всюду в очень большом количестве и играют здесь ту роль, которая впоследствии переходит к двусторчаткам моллюскам, пока еще редким. Примитивные ракообразные (трилобиты) имеют особенное значение в более глубоких частях этой группы отложений, а по мере движения вверх уменьшаются. В силуре мы встречаем колонии кишечноротовых животных (Coelenterata), полипы, которые относятся к вымершей группе граптолитов (Graptolitha). Довольно рано появляются Cephalopoda с простейшей организацией (Nautiloidea). Растительность суши собственно ограничена только верхней частью эры (начиная с верхнего девона). Из более древних форм в сущности известны только водоросли. Эра расчленяется на пять периодов:

Пермь, Карбон, Девон, Силур, Кембрий.

Археозойская или альгонская эра. Отличается скудным и примитивным органическим миром.

Азойская или архейская эра. Без следов органической жизни.

Таким образом оказывается возможным по содержанию органических остатков различать три крупных эры (группы), а в каждой из них выделить еще несколько геологических периодов (систем), которые со своей стороны на основе фауны делятся на века (ярусы), подъярусы и наконец на зоны. Эти деления могут быть распространены по всей земле, т. е. руководящие ископаемые, присущие известным зонам появляются в идентичных или сходных формах в одинаковой последовательности во всех континентальных областях.

Таково эмпирическое положение, которое надо рассматривать как абсолютно верное и вполне установленное. Логическое следствие отсюда, естественно, может быть только то, что пласты, характеризующиеся присутствием одинаковых животных и растений должны были образоваться в одно и то же время. Этот с виду простой вывод однако заключает в себе почти необозримый ряд возможностей для различных толкований и следствий и ведет в лабиринт, который и до настоящего времени еще не приведен в полную ясность.

Следует при этом отметить, что трудности толкования возникают в тот момент, когда мысль о биологическом развитии должна быть введена в само по себе ясное, логическое построение. Пока наука стояла на точке зрения Кювье, предшествовавшей появлению теории Дарвина, утверждавшей, что каждая фауна является созданием, которое каждый раз уничтожается какой-нибудь катастрофой и заменяется в результате нового акта творения, эта система казалась безукоризненной, хотя все возрастающее количество зон приводило к мысли о невероятном количестве катастроф, которые однако не подтверждались другими документами. Но, несмотря на то, все же это «discretum» многочисленных новых творений, с выводом относительно неизвестных сил природы, которые их создают и разрушают,

могло быть легче истолковано, чем «continuum» прогрессирующего развития. К тому же это непрерывное развитие едва ли могло быть исследовано с актуалистической точки зрения, так как биология до сих пор еще не дала почти никаких наблюдений, могущих подвергнуться экспериментальной проверке в вопросе образования и вымирания видов.

Вышеприведенное определение геологического возраста, такое с виду ясное, охватывает *de facto* два очень важных и сложных понятия: тождественность и одновременность.

Эти биологические предпосылки должны быть теперь кратко рассмотрены.

Понятие тождественности

Можно констатировать полную одновременность пластов, если они содержат остатки одних и тех же животных форм. Что это значит, ясно без дальнейших рассуждений, когда речь идет о больших периодах времени — эрах, геологических периодах и о больших группах животных — отрядах, семействах. Аммонит всегда будет характеризовать мезозойский возраст, граптолит — силурийские отложения; но при этом поворится только об условном единстве времени в пределах периодов, охватывающих много миллионов лет. Что касается более мелких подразделений — зон, то здесь определение становится труднее, так как последние характеризуются уже более мелкими биологическими единицами — видами, а в палеонтологии как раз очень трудно точно установить зоологическое понятие вида.

Вид выделяется на основании одного или нескольких признаков, которые отличают его от сходных видов, но так как практически ни один индивидуум не может быть вполне тождественен другому, то видовыми признаками считаются только такие, которые присущи целой группе отдельных животных. Произвольности (которая несомненно лежит в основе такого подхода) определения вида в зоологии можно избежать, основываясь на экспериментах в области наследственности. Устойчивыми (константными), т. е. определяющими вид, являются лишь только признаки вариации, передающиеся по наследству, не переходящие по наследству, т. е. подчиненные законам случайности, признаки (варианты) не имеют значения для определения вида. Так как палеонтологией недоступен эксперимент, то здесь повидимому отсутствует объективный критерий для различия между вариациями и вариантами.

Поэтому понятие о виде в палеонтологии является чисто описательным, т. е. формальным. Ясно, что здесь таятся значительные источники ошибок как в сторону объединения между собой совершенно разнородных вариантов, так и в сторону необоснованного деления на основании недостаточно существенных признаков. Эти источники ошибок усиливаются еще тем, что мы не имеем перед собой, как в зоологии, картины развития, но мы должны также считаться с изменениями во времени, т. е. с системой трех измерений; на этом-то как раз и основывается следующее допущение: что одинаково, то образовалось в одно и то же время. Признак или совокупность признаков, которые определяют вид, не являются таким образом, как

это может быть принято в зоологии, чем то твердо установленным и неизменным, но они подвержены изменениям с течением времени. Так как сейчас невозможно принять то, что каждый вновь возникающий вид является вновь созданным, то необходимо обратиться к теории эволюции, допустить, что новые виды возникают благодаря появлению новых признаков у ранее существовавших видов. Это положение является логическим постулатом; его вряд ли можно доказать актуалистически, так как у нас нет современных нам, точно установленных примеров образования видов. Поэтому здесь не следует рассматривать теорий, трактующих о причине и механизме этого процесса. Только один пункт имеет конечно решающее значение для биологического измерения времени: происходят ли эти преобразования непрерывно и постепенно или скачками, не появляются ли новые признаки сразу (мутации по де-Фризу (de-Vries), тотчас же становясь наследственными.

Ясно, что только в последнем случае, который собственно противоречит учению об эволюции в его первоначальном виде, возможно однозначное определение вида, а вместе с тем и подразделение времени на этой основе: появление новой мутации является в то же время признаком (маркой) времени. Тот факт, что редко находятся непрерывные генетические стволы и что в последовательно залегающих зонах на одном и том же месте происходит смена ясно выраженных видов, с первого взгляда как будто бы подтверждает эту теорию. Только в этом случае, основанном на предположении, что процесс развития выражается в последовательном появлении целого ряда ясно обособленных вариантов, можно определить единицу времени как продолжительность жизни вида, что очень резко впервые формулировал Ведекинд (Wedekind)¹.

Но дело обстоит не так просто. В работе об одной группе аммонитов (*Cosmoceras*) из верхней юры Англии Бринкманн (Brinkmann)² недавно показал, что можно наблюдать постепенно изменение признаков от пласта к пласту; где ощущается скачок в развитии, там мы повидимому имеем дело с пробелом в осадкообразовании, так что недостающие промежуточные формы все же могут быть найдены в другом месте и фактически действительно существуют, но они до сих пор недостаточно учитывались, как незначительные местные вариации. Если такое понимание правильно, а мне лично кажется, что многое говорит за это, тогда понятие о замкнутом виде является вообще чем-то более или менее произвольно внесенным в представление о непрерывной эволюции; но тогда понятие о тождестве является лишь условным и оказывается невозможным дать резкие, вполне однозначные марки времени или моменты появления или исчезновения данного вида.

Надо подчеркнуть, что здесь может иметь значение не сравнение отдельных экземпляров, но статистическое рассмотрение изменчивости очень многочисленных, встречающихся в одном пласте, т. е. одинаковых по возрасту, индивидуумов. Возможно, что иногда, как я

¹ Grundlagen und Methoden der Biostratigraphie, Berlin. 1916.

² Statistisch-biostratigraphische Untersuchungen am mittelmiozänen Ammoniten. Abhandl. Ges. f. Wissensch., Göttingen, 13, 3, 1929.

принял однажды¹, невыполнимые эксперименты над наследственностью могут быть заменены исследованиями корреляции. Это значит следующее: тот или иной признак не изменяется только сам по себе, но обуславливает уже чисто механически изменения других признаков, что и представляет собою явление корреляции. Если следовательно признак a_1 видоизменился в признак a_2 , то соответственно этому другой признак b_1 перейдет в b_2 . Но такой случай мы будем иметь только тогда, когда a_2 стал постоянным, т. е. наследственным признаком. Таким образом как вид может быть обозначена только устойчивая совокупность признаков $a_1 + b_1$ и $a_2 + b_2$, тогда как там, где признаки появляются в беспорядочном сочетании $a_1 + b_1$, $a_1 + b_2$, $a_2 + b_1$, $a_2 + b_2$ может быть только речь о вариантах. Этот принцип может быть конечно применен только там, где могут считаться по крайней мере вероятными механические соотношения между двумя признаками.

Нечего и говорить, что наряду с этим имеются признаки, которые видоизменяются независимо друг от друга. Но здесь опять необходимо учитывать, что некоторые из них могут прогрессивно изменяться с течением времени и потому их можно все же использовать как показатели времени (понятие о мутации по Ваагену, не идентичное понятию о мутации по де-Фризу), тогда как другие существуют наряду друг с другом, не имея никакого значения в смысле указаний на время.

Соотношения между двумя вышеприведенными группами признаков можно пояснить на примере аммонитов верхнего девона, который я беру из работы Шиндевольфа (Shindewolf)². В верхнем девоне мы находим род аммонитов *Cheilosceras*, который отличается определенным типом сутурной линии, т. е. швом между стенками, разделяющими камеры, и наружной оболочкой. Благодаря прогрессирующему усложнению сутурной линии, т. е. хорошо выраженного признака, в более позднем верхнем девоне устанавливается ряд *Sporadoceras* и наконец *Discoclymenia*. Признак сутурной линии следовательно обусловлен временем и является пригодным для деления на зоны, совершенно независимо от того, признаем ли мы постепенное или скачкообразное изменение: в первом случае границы отрезков времени были бы неясными; во втором — резкими (фиг. 25).

Наряду с этим и в пределах того же рода *Cheilosceras* мы различаем три различных типа раковин (плоские, утоняющиеся к внешнему краю и округленные), которые появляются одновременно и которые присущи также более молодым группам *Sporadoceras* и *Discoclymenia*. Следовательно эти признаки в смысле времени являются безразличными во всяком случае в пределах этой группы. С биологической точки зрения здесь констатируется важный факт, состоящий в том, что вариации во времени у различных групп происходят независимо друг от друга, но одновременно. Это было установлено и у других групп животных.

¹ Die ladinische Fauna von Forno. Verhandl. naturhist.-mediz. Verein, Heidelberg, 14, 1921.

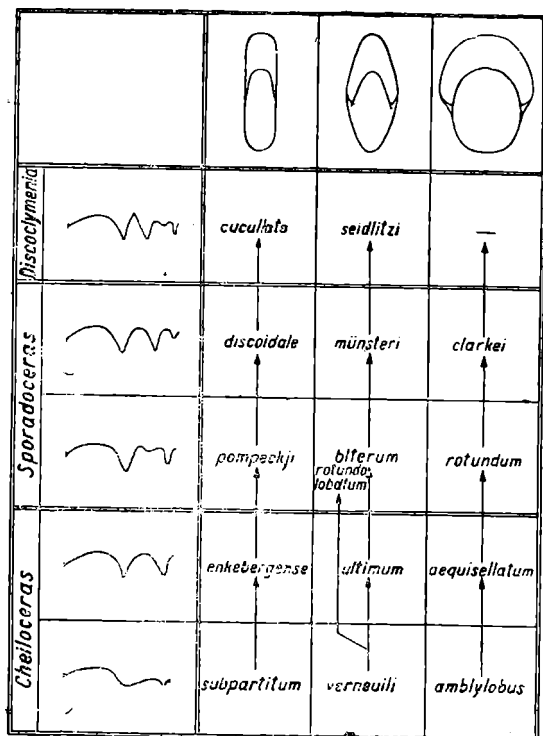
² Prinzipienfragen der biologischen Systematik. „Paläontologische Zeitschrift“ 1927.

Группы, отличающиеся тождественными признаками, обусловленными временем (сутурная линия), не являются тождественными по своему происхождению, т. е. генетически неоднородны, но представляют отрезки нескольких, идущих параллельно рядов развития, тогда как генетически единые группы, отличающиеся одинаковой формой раковины (Gehäuserform), безразличны с точки зрения времени.

Биологическое толкование этих обстоятельств еще не вполне удастся, так как одинаково быстрое видоизменение признаков в независимых, т. е. не происходящих друг от друга, рядах выдвигает перед мыслью исследователей природы большие трудности. Так как нельзя, конечно, этого объяснить «заранее предустановленной гармонией»¹, приходится признать одинаковую реакцию на однородные изменения окружающей среды, не предвещая вопроса, каковы эти изменения и почему они например непосредственно действуют на сутурную линию аммонитов.

Но мы не можем здесь углубляться в этот лабиринт еще совсем темных биологических вопросов. Важно здесь только прочно установленное положение, что изменение признаков, которые не связаны с происхождением, а потому приводят к чисто описательной (условной) группировке форм, могут быть гораздо важнее для определения времени, чем вариации генетически общие, т. е. основанные на наследственности. Надо однако еще помнить, что не всегда можно смотреть на сутурную линию, как на показательный признак в смысле времени, а на форму раковины, как на признак безразличный в этом отношении; при известных обстоятельствах может быть совершенно обратное положение, что конечно еще сильнее запутывает разрешение проблемы.

Таким образом мы признаем, что понятие биологического тождества ни в какой степени не может считаться имеющим одно опреде-



Фиг. 25. Видоизменения верхнедевонского рода аммонитов в пространстве (слева направо) и во времени (сверху вниз).

Слева — соответствующие сутурные линии, сверху — поперечное сечение раковинки. По Шиндлервольфу.

¹ Это напомнило бы объяснение психофизической причинности примером двух с самого начала одинаково отрегулированных часов.

ленное значение в качестве базиса для определения времени, поскольку мы имеем дело с мельчайшими единицами. Наряду с индивидуальными вариантами, которые совсем ничего не выражают, может существовать довольно долгое время целая совокупность признаков, передающихся по наследству, тогда как другие, генетически разные и лишь описательно обобщенные признаки меняются быстро и могут служить показателями времени. Признак, который долгое время остается неизменным, может затем сразу сделаться «вирулентным», т. е. начать быстро видоизменяться, благодаря чему он перестает быть постоянным признаком, а становится руководящим для оценки времени. С этим связано то обстоятельство, что определенный род дает характерные руководящие ископаемые вряд ли в течение большого промежутка времени, чем отрезок, соответствующий одной зоне, а затем он или исчезает или становится безразличным, т. е. не пригодным уже для определения времени¹.

Так например аммоны нижнего девона еще до некоторой степени могут служить в качестве зональных руководящих ископаемых, тогда как «спириферы (плеченогие), чрезвычайно быстро изменяющиеся в нижнем девоне, позже в верхнем девоне и в карбоне, оказываются уже мало пригодными в качестве руководящих зональных ископаемых.

Понятие одновременности

Если, как мы уже констатировали, понятие тождественности совсем не является абсолютным и требует обоснования и толкования для каждого данного случая, то понятие об одновременности, поскольку оно базируется на биологических данных, вызывает еще большие затруднения. Из сказанного выше следует, что изменения признаков могут протекать быстрее или медленнее, что «продолжительность их жизни» также не является точно физически определяемой и неизменной единицей времени. Далее мы видим на примере вышеприведенных верхнедевонских рониатитов, что признаки, на которые влияют сильнее внешние обстоятельства, чем условия происхождения, имеют преобладающее значение для определения времени. Это очевидно значит, что биологическая разновидность, с которой связано исчисление времени, может являться функцией внешних условий, т. е. в конечном счете историко-геологического процесса, и таким образом это исчисление имеет условное значение, которое вряд ли даже может быть определено физически. Таким образом становится условным и понятие одновременности; но если даже положить в основу общепотребительный постулат, что некоторые тождественные признаки в пределах одной группы животных являются в то же время признаками одновременности, то мы все же не приходим к непреложным результатам, когда речь идет о тонкостях шкалы времени. Эта неуверенность получила яркое выражение в спорах о границах геологических систем, которые тянутся уже десятки лет и до сих пор еще не дали полного разрешения вопроса. Собственно говоря, ни одна граница между геологическими системами не является точно установленной, если она основывается только на фаунистических при-

¹ Следовательно биологическое подразделение времени может всегда основываться только на отрезках или частях генетических рядов.

знаках и не приурочивается к перерывам в процессе осадкообразования и изменения фаций. Покажем это на нескольких примерах.

Кембрий-силур. Лежащие на границе диктионемовые сланцы и оболовые песчаники относятся сейчас к самому нижнему силуру, а прежде в течение десятков лет их считали относящимися к кембрию. С точки зрения истории земли они обозначают начало трансгрессии, тогда как фаза горообразования проявляется только после их отложения.

Силур-девон. Отношение самого верхнего силурийского яруса — доунтонского к самому нижнему ярусу девона — жединскому и сейчас еще не вполне ясно.

На основании новых французских исследований следует признать, что частично эти оба яруса совпадают во времени.

Девон-карбон. Самый верхний горизонт девона, характеризующийся родом *Gattendorfia*, повидимому идентичен нижнему горизонту карбона, содержащему *Protocanites*. Следовательно вопрос только в согласовании, где провести границу: под или над этим горизонтом.

К этой проблеме мы еще вернемся. В Восточной Европе в этом месте профиля находится малевко-мураевнинский ярус со смешанной фауной, состоящей из девонских и каменноугольных видов, отнесение которых к девону основывается на преобладании девонских видов.

Карбон-пермь. В Западной Европе, где нет морских отложений, эта граница намечается совершенно условно там, где появляются впервые папоротники *Callipteris conferta*, при условии точного констатирования того, что другие растения, как например ширококраспостранный род хвойных *Walchia*, не связаны с этой границей. Там, где эта граница выражена морскими пластами, как например в восточной части Русской равнины, там говорят о пермо-карбоне — термин несомненно компромиссный, которым приходится компенсировать отсутствие резкого разграничения.

Пермь-триас. В среднеевропейских континентальных районах фаунистическую границу вообще едва ли возможно провести. Ее обычно проводят по чисто петрографическим признакам (толщи конгломератов, противоположение аркозов пермских отложений кварцевым песчаникам триаса и т. д.). В районе Средиземного моря граница бывает часто фаунистически и петрографически резче, как например в Восточных Альпах, но в других местах, как например в Центральной Азии, имеются непрерывные морские серии, которые не допускают резкого разграничения. В Восточной Европе на границе залегают опять континентальные отложения (татарский ярус), принадлежность которых к пермским или триасовым отложениям остается совершенно не установленной.

Триас-юра. На границе залегают ретические отложения, которые по своей фауне относятся к триасу; но так как громадная, мирового масштаба трансгрессия юрского моря началась уже в ретический век, то в романских странах этот ярус иногда относится уже к юре.

Юра-мел. Эта граница в общем резка благодаря имевшему широкое распространение отступанию моря. Но в районах чисто морского развития этих отложений, например в области Средиземного моря и

в Альпах, вопрос о положении пограничного горизонта — титона вызывает горячие споры и разногласия.

Мел-третичный период. Эта граница самая резкая во всей истории земли благодаря внезапному вымиранию аммонитов, белемнитов, многих пресмыкающихся и столь же внезапному появлению нуммулитов, млекопитающих и других современных групп животных.

Но мы видим уже по этому краткому сопоставлению, что одновременность границ геологических периодов в различных частях земли установлена не безусловно твердо. Если мы примем постулат равенства продолжительности жизни определенного вида по всей земле, что в более тесном смысле, как мы уже видели, обозначает одновременность появления определенного признака, то и тогда все-таки еще возникает вопрос, справедлива ли эта одновременность и для других видов или групп животных. В рамках небольших единиц времени это конечно не так. Вернемся для ясности опять к границе между девоном и карбоном. Здесь недавно выяснилось одно поразительное обстоятельство, а именно, что эту границу можно проводить различно, в зависимости от того, от какой группы животных организмов исходить. Если делать расчленение по аммониям, то по Шиндевольфу каменноугольные типы кораллов, трилобитов и брахиопод появляются раньше, т. е. в верхнем девоне. В общем мы приходим к следующей схеме подразделения времени, на которой резче выделены важные границы для отдельных групп¹. (См. схему на след. стр.).

Это обстоятельство является прямо уничтожающим для догматического понятия об одновременности, так как мы приходим к совершенно различным положениям границы между геологическими системами в зависимости от того, из какой группы животных мы исходим; другими словами границы (марки) времени и ритм развития различны для разных групп. Если мы в определенном районе имеем только брахиопод, то установленная на основании их мутаций граница между отдельными свитами может не совпасть с границей, установленной на основании цефалопод. Давно уже известно, что развитие флоры следует вообще другим законам, чем развитие животного мира, и что новые группы растений появляются раньше, чем новые фауны. С точки зрения флоры например верхний палеозой начинается со среднего девона, мезозой — с перми, а кайнозой — с верхнего мела.

Вполне можно сказать, что эти факты, которые в аналогичной форме могут быть приведены для каждой возрастной группы отложений, представляют собой серьезнейшее возражение против безусловной значимости биологического определения времени. Ведь мы уже видели, что понятие продолжительности жизни вида не имеет незыблемого содержания, так как нам приходится иметь дело с постепенными видоизменениями; эти постепенные видоизменения только потому завуалированы, что не все переходные стадии бывают известны: пробелы в данных могут вызвать неверное представление об изменениях, происходящих скачками. Мы видим далее, что понятие о продолжительности существования вида также не может счи-

¹ По Шиндевольфу в „Congrès de stratigraphie carbonifère“. Lüttich, 1928. Надо однако обратить внимание на то, что нижний ярус карбона может совпасть с верхним ярусом девона.

Цефалоподы	Кораллы	Брахиоподы	Трилобиты	Растения
Нижний карбон I	каменноуголь- ные	каменноуголь- ные	каменноуголь- ные	каменноуголь- ные
Верхний девон VII (Gattendorfia)	каменноуголь- ные	каменноуголь- ные	каменноуголь- ные	девонские
Верхний девон VI (Wocklumeria)	каменноуголь- ные	каменноуголь- ные	девонские	девонские
Верхний девон V (Laevigites)	каменноуголь- ные	девонские	девонские	девонские
Верхний девон IV (Postprolobites)	девонские	девонские	девонские	девонские

таться чем-то непреложным, по той причине, что у различных групп животных организмов эта жизнь вида охватывает различные по длительности отрезки времени.

Можно конечно допустить относительное определение времени, если исходить из одной животной группы, в которой по крайней мере в пределах небольших промежутков времени изменение признаков может происходить с постоянной скоростью. Если ограничиваться только малыми интервалами времени, то такое допущение во всяком случае не будет противоречить фактам; напротив, вышеприведенный пример параллельных рядов развития, которые характеризуются изменением определенного признака в одном направлении, говорит даже за принятие этого постулата. Надо, разумеется, выбирать группу, которая при быстрой мутации во времени имеет довольно широкое горизонтальное распространение. Активно плавающие (нектонные) и пассивно распространяемые течениями (планктонные) животные имеют в этом отношении преимущество и отсюда становится ясным большое стратиграфическое значение аммонитов.

В недавнее время стали часто пользоваться для определения времени неподвижно прикрепленными кораллами, но мне кажется, что последние могут играть только узко ограниченную роль чисто местного значения. Однородность их мутации на всем земном шаре еще требует доказательства.

Но и относительное, и условное применение биологического понятия о времени содержит в себе еще одно осложнение, на которое особенно указывали Земпер (Semper) и Денингер (Deninger)¹. Мы должны рассмотреть следующие возможности. Когда вид *a* появляется в двух далеко отстоящих друг от друга местах, а затем в обоих случаях замещается видом *b*, то здесь возможны два толкования: или преобразование произошло в обоих местах в одном направлении, но независимо друг от друга — приблизительно так же, как в вышеприведенном примере параллельного развития, или же вид *b* возник только в одном месте путем преобразования вида *a* и достиг второго

¹ „Zentralblatt f. Mineralogie“ usw., 1928; „Neues Jahrbuch f. Mineralogie“ usw., II, 1910.

места с помощью переселения. В том и другом случае единство времени далеко не всегда гарантировано. В первом случае приходится опять делать недоказанное допущение развития в одинаковом направлении и с одинаковой скоростью, причем одновременное вымирание представляет новые затруднения. Во втором же случае абсолютная одновременность совершенно исключена, так как странствование животных все же отнимает некоторый, хотя с геологической точки зрения и небольшой период времени. Он будет тем меньше, чем подвижнее данная форма животных.

Разрешение этого осложнения Впрочем возможно, если принять во внимание сделанное однажды Зёргелем¹ указание. Он считает вероятным, что изменение вида протекает главным образом не в области мелкоморья (шельфа), среди отложений которого мы находим данный вид, но в более глубоких морях, прежде всего в геосинклиналях, история которых, отличающаяся крайним беспокойством, заранее предполагает такие условия окружающей среды, которые весьма благоприятны для быстрых вариаций. Отсюда вид попадает в область шельфа в качестве «выходца» («Ableger»), где благодаря характерным для мелководных морей различиям в фациях и наличию перерывов нашему наблюдению, вместо непрерывного ряда видоизменений, доступны лишь отдельные отрезки линий развития. При таком допущении можно во всяком случае условно применять принцип относительной одновременности.

Как уже было сказано, это допущение пригодно только для подразделения времени на основе быстро мигрирующих легко передвигающихся с места на место форм; совпадение с появлением других видов не является безусловно точным, а вероятно оно даже и совсем не существует. Возьмем для иллюстрации этого еще пример. Нижняя часть верхнего карбона (намюрский ярус) может быть точно установлена в Бельгии, Вестфалии, Верхней Силезии и на юге Европейской части СССР на основании аммонитов. Но это подразделение отличается от того, которое основывается на растениях и брахиоподах. Так например форма *Productus giganteus* в Западной Европе известна только в нижнем карбоне; в Донецком же бассейне на юге Европейской части СССР мы ее встречаем также и в нижних частях верхнего карбона. Другие брахиоподы, которые были найдены в Западной Европе только в нижнем карбоне, представлены в верхнем карбоне не только на юге Европейской части СССР, но и в Верхней Силезии. Плеченогие, связанные с мелководным морем, при регрессии каменноугольного моря отодвигались по видимому шаг за шагом к востоку. Напротив, на юге Европейской части СССР некоторые растения, относящиеся к верхнему карбону, попадают уже в намюрском ярусе, тогда как в Западной Европе они встречаются выше, т. е. надо полагать, что растения на образующейся суше, как раз наоборот, передвигаются с востока на запад.

Эти факты ярко показывают условное значение руководящих ископаемых. Если мы проведем общую классификацию времени на основании данных об определенной группе животных организмов,

¹ Soergel. Das Problem der Permanenz der Ozeane und Kontinente. Stuttgart, 1917.

то другие группы мы должны принимать во внимание лишь с локальной точки зрения, и должны всегда помнить, что они регионально могут подчиняться совсем другому ритму изменений.

Эти соображения могут с первого взгляда показаться пустыми рассуждениями, так как на практике мы все-таки до известного предела возможности устанавливаем время по имеющимся в наличии видам животных, и отчасти можем производить разделение времени даже довольно точно. И все же необходимо обратить внимание на принципиальные основания такого подразделения времени, чтобы подобная классификация, вполне допустимая практически, не была совершенно недопустимым образом переоценена теоретически. Особенно следует подчеркнуть то обстоятельство, что наши общегеологические измерения времени основываются на биологических факторах, которые могут быть истолкованы различным образом. Это биологическое определение времени не имеет ничего общего с физико-астрономическим, так как продолжительность жизни одного вида не может быть установлена точно. То, что она в конце концов зависит от внешних, т. е. геофизических, а вместе с тем, может быть, и от астрономических процессов, является возможным, но не абсолютно достоверным. Во всяком случае время, установленное по биологическим факторам, не может иметь непреложного значения при геофизических исследованиях. К этому еще нужно сделать некоторые дополнения.

Горообразование и времяисчисление ¹

Анализ биологических основ исчисления времени позволяет сделать предположение, что в конечном счете события неорганического мира влияют на изменчивость и таким образом регулируют исчисление времени. Трудно иначе объяснить разобранные выше случаи конвергентного параллельного развития. Если же мы, несмотря на это, кладем в основу измерения времени не первичные причины, а производные явления — следствия, то происходит это, во-первых, оттого, что события органической жизни сильнее дифференцированы, т. е. доставляют более яркие, легче друг от друга отличимые данные о времени, а во-вторых, оттого, что одновременность и мировой охват определенных неорганических процессов пока еще представляет собой лишь более или менее вероятный постулат. Мы будем здесь исходить только из орогенических процессов, так как например климат, разумеется, не может иметь одинакового значения для всей земли и является кроме того функцией многих более глубоких причин, эпигенез же как вековой и более или менее непрерывный процесс с широким охватом вообще мало пригоден для целей исчисления времени. Наоборот, сейчас принимают вместе со Штилле, что орогенез действует эпизодически; каждый орогенический эпизод выражается несогласием залегания, причем это несогласие может быть отмечено для одного и того же периода, но часто в далеко отстоящих друг от друга местностях, что уже говорит в пользу признания одновременности и повсеместного значения этого явления.

¹ В основу положен труд: Н. Stille. Grundfragen der vergleichenden Tektonik. Berlin, 1924.

Если бы при этом, как полагали раньше, речь шла в сущности о трех крупных орогенезах, которые имеют место по всей земле, то мы имели бы здесь резкие разграничивающие линии, которые легко вырисовываются и ясно влияют на биологическое развитие. Это примерно можно изобразить следующим образом:

Каледонская эпоха горообразования (между силуром и девоном): появление рыб, амфибий, гониатитов, первой флоры на суше.

Варискийская эпоха горообразования (в конце карбона): появление пресмыкающихся, аммонитов, видоизменение флоры на суше.

Альпийская эпоха горообразования (между мелом и третичным периодом): появление млекопитающих и большинства живущих ныне родов флоры и фауны.

Были сделаны попытки привести это деление в связь с астрономическими данными¹, которые однако благодаря шатким чисто спекулятивным предпосылкам имеют сейчас скорее исторический интерес.

Успехи стратиграфии, особенно расчленение геологических систем на зоны показали, что орогеническая схема времени значительно сложнее и что мы можем различать не три, а по крайней мере тридцать две фазы орогенеза.

На ниже помещенной таблице дается сводка известных в настоящее время орогенических фаз.

Ярус		Орогеническая фаза	
Третичная система			
Плиоцен	{ Астийский	Валахская	
	{ Пиаценский	Ронская	
	{ Повтический	Аттическая	
Миоцен	{ Сарматский	Юная	} Штирийская
	{ Гельветский	Древняя	
	{ Бурдигальский		
	{ Аквитанский		
Олигоцен	{ Верхний	Савская	
	{ Средний		
	{ Нижний	Пиренейская	
Эоцен			
Палеоцен		Ларамийская	
Мел			
Маастрихт			
Верхний сенон		Юная субгерцинская	
Нижний сенон			
Верхний эмшер		Древняя субгерцинская	
Нижний эмшер			
Турон			
Сеноман		Австрийская	
Гольт			
Апт			
Баррем			

¹ Например ом. Блитт (Blytt). *Dacqué Grundlagen der Paläogeographie*. S. 271.

Юра	Готерив		
	Валанжин	Гильсовая субфаза	Юная ким- мерий- ская фаза
	Вельд		
	Верхний портланд	Остервальдская субфаза	
	Нижний портланд	Дейстерская субфаза	
	Киммеридж		
	Оксфорд		
	Келловей		
	Доггер		
	Верхний лейас	Донецкая	
Триас	Средний лейас		Древнекиммерийская Лабинская (река Лаба на Кавказе) Фаза Новосибирских островов (?)
	Рэтический	Древнекиммерийская	
	Норийский		
	Карнийский		
	Ладинский		
	Анизийский		
	Скифский	Пфальцская	
	Верхняя		
	Средняя	Заальская	
	Нижняя	Движения в Силезии, во Франции	
Карбон	Стефановский	Астурийская	Бретон- ская
	Верхневестфальский	Движения в Силезии ¹	
	Нижневестфальский	Рудных гор	
	Намюрский	Судетская	
	Верхневизейский	? Бавария, Силезия	
	Нижневизейский	Сельская субфаза	
	Турнейский (pericyclos)	Нассауская субфаза	
	Этреньский (protocanites)	Марсийская субфаза	
	Верхний девон	Нормандская?	
	Средний девон	Зигерландская?	
Силур	Кобленцкий	Эрийская	
	Зигенский	Арденнская	
	Доунтон		

¹ Возможно, что здесь лежит астурийская фаза.

	Готландский отдел	Таконская ? Экне
	Верхний ордовичский.	Трондлемская
	Средний ордовичский	Трисильская (доаргег- ская)
Кембрий	Верхний	
	Средний	Движения в Испании
	Нижний	
		Постальгонская
Альгонкий	Иотнийский	Доиотнийская
	Ятульский	

Эти фазы выступают не везде; внутри гор например в общем оказывается справедливым закон, состоящий в том, что в ядерной части горной зоны складки образуются раньше, а в наружных частях позже; поэтому можно говорить о зональном перемещении процессов горообразования. По мере прогресса наших знаний выясняется все более, что периоды покоя были значительно многочисленнее, но зато короче, чем предполагалось раньше. В каждый геологический период в каком-нибудь месте земли можно указать фазы горообразования. Если мы таким образом признаем их эпизодический характер, то эти эпизоды все же оказываются более частыми и в каждом отдельном случае более слабыми, чем их считали раньше, и только их суммирование обуславливает проявление тех колоссальных, поражающих орогенических процессов, которые отличаются от непрерывного эпирогенеза больше по степени, чем принципиально.

Использовать орогенические фазы в качестве дат времени можно было бы в том случае, если бы можно было не только предположить, но и доказать их абсолютную одновременность по всей земле. Но подобное доказательство могло бы опять-таки основываться только на биологических фактах, а мы в общем уже выяснили, что они могут с ручательством дать только условную одновременность.

Возьмем специальный пример. Марсийский этап варисийского горообразования определяется тем, что он имел место после отложения зоны VI верхнего девона, но до отложения зоны VII, которая, как мы уже видели, могла совпадать с зоной I нижнего карбона. Следовательно неопровержимое доказательство этой фазы было дано при условии, если бы смятые в складки пласты зоны VI были перекрыты не сложенными в складки или слабо складчатыми пластами зоны VII; но и в этом случае нельзя с уверенностью говорить об абсолютной одновременности, так как здесь, во-первых, надо учитывать весь комплекс вышеприведенных проблем зональной стратиграфии, а также и потому, что вряд ли может быть уверенность в том, что действительно зона VI в целом уже отложились прежде, чем началось образование складок и что зона VII действительно всюду представлена своими древнейшими, т. е. самыми нижними частями. Так как обе зоны охватывают известный промежуток времени, то естественно принять и для орогенического эпизода известный промежуток времени, так что небольшая продолжительность фазы принимается тоже только относительно. Но, не говоря уже об этих затруднениях, нужно отметить, что такой случай, когда смятые

в складки отложения одной зоны прямо перекрываются не сложенными в складки пластами непосредственно следующей за ней зоны, вообще встречается чрезвычайно редко; большей частью имеется пробел, который охватывает несколько зон, так что смятые в складки пласты зоны III и IV перекрываются не затронутыми складчатостью отложениями зоны VII. Это тоже является естественным потому, что образование складок большей частью приводило к подъему пластов выше уровня седиментации. В этом случае отнесение горообразования к марсийской фазе могло бы иметь место только на основании допущения, что между зоной III и IV произошел только один орогенический эпизод, но здесь имеется опасность логического круга выводов.

Если даже признать безусловно вероятной концентрацию процессов горообразования в беспокойные орогенические периоды, и если добавить к этому, что анализ фаз и выяснение их отношения к стратиграфическо-биологическому подразделению в огромной степени обогатило наши знания, то мы все же во избежание неправильных выводов обязаны подвергнуть строжайшей проверке универсальную справедливость орогенического закона времени, предложенного Штилле, и принципиальное различие между эпизодическим и вековым (säkular).

При этом исходным пунктом может служить следующее положение. При рассмотрении таблицы фаз нас поражает, что число орогенических фаз повидимому возрастает с поступательным ходом истории земли. Это следует прежде всего из того, что палеозойская эра несомненно охватывает более продолжительное время, чем кайнозойская, а потому и ярусы более юных геологических систем также охватывают более короткие промежутки времени. Если бы мы приняли это как факт, то отсюда вытекало бы, что в ходе исторического развития земли имеет место прогрессирующее повышение орогенической подвижности, что могло бы со своей стороны привести к дальнейшим заключениям весьма общего характера.

Я, напротив, считаю, что здесь может оказаться принципиально, т. е. с логической точки зрения, очень интересный случай ложного толкования, на котором необходимо вкратце еще остановиться.

В некоторых осадочных бассейнах каменноугольного периода в горных выработках можно ясно видеть, что несогласия, которые указывают на орогеническую фазу, исчезают по направлению к внутренней части бассейна, где наблюдается согласное залегание. Так например у восточного края мульды внутренних Судет — верхний карбон налагает несогласно на нижний карбон (судетская фаза), тогда как во внутренней части бассейна от этого несогласия не остается почти никаких следов. Это значит, что движение в судетскую фазу было значительным только по краям бассейна.

Если же осадки верхнего карбона впоследствии были бы разрушены по краю, а здесь, разумеется, как в более поднятой области, разрушение было бы гораздо сильнее, то впоследствии было бы возможно видеть только согласное напластование в центре бассейна, а о несогласном напластовании в краевой части мы бы ничего не знали: в таком случае отпала бы самая возможность установления орогенической фазы.

Я думаю, что можно указать подобное явление в ряде случаев в

верхнем карбоне Силезии. Местные несогласия наблюдаются редко и в середине бассейна они распознаются только по изменению осадков. Подобным же образом обстоит дело в Верхней Силезии, где хотя нижнекаменноугольные и намюрские пласты значительно сильнее смяты в складки, чем более молодые пласты верхнего карбона, но где однако нельзя видеть между ними несогласия, так как участок земной поверхности, в котором оно существовало, был приурочен к краю бассейна, подвергнувшемуся впоследствии сильному сносу.

Если мы согласимся с этой возможностью, то нам следует далее учесть следующее: у более молодых третичных толщ часто хорошо сохранились и доступны наблюдению как раз прибрежные отложения; внутренние части третичного бассейна еще и теперь часто залегают очень глубоко, ниже уровня моря. Для более древних отложений мы имеем обычно совершенно обратные условия и как раз относительно узкие краевые части бассейнов имеют повидимому мало шансов избежать разрушения и сноса. Если это положение правильно, то увеличение количества фаз с ходом истории земли можно будет рассматривать как явление лишь кажущееся; в этом случае окажется весьма возможным, что и в более древние геологические эпохи было больше фаз горообразования.

Конечно такой ход рассуждений приложим прежде всего для областей слабой складчатости. Для интенсивного орогенеза альпийского типа это чисто локальное ограничение повидимому отпадает, но и здесь случай не так прост, так как и такая складчатость, разумеется, возникает и затухает не в один день и требуется например достаточно долгий период времени для того, чтобы переместить породы из района Лаго-Маджиоре к Фирвальдштетскому озеру. Далее надо подчеркнуть, что в таких районах почти не имеется очень частых зональных несогласий, т. е. непосредственного налегания следующей зоны на смятую в складки предыдущую зону. Обычно перерыв бывает значительно больше и указать зональные несогласия можно только в краевой области; нечто подобное мы имеем в Альпах, по северному краю, в области юных третичных молассов; в горах карбона наблюдается то же на северном краю, среди вестфальских угленосных отложений. Но для краевой зоны оказывается действительной вышеприведенная закономерность, имеющая место в краевых частях бассейнов, в которых могут быть точно установлены лишь только самые юные стадии развития, но не их совокупность.

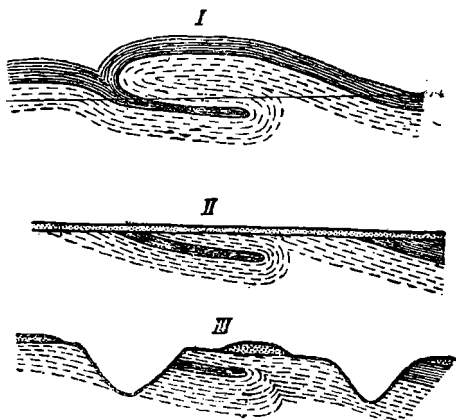
Здесь надо еще указать что Бэрлинг (Bärting) например пытался недавно установить в Вестфалии постепенное понижение интенсивности складчатости в течение верхнего карбона; если это так, то в таком случае вообще следовало бы поставить вопрос об эпизодическом характере орогенеза.

В заключение следует поставить еще один принципиальный вопрос. Как сказано выше, показательным для орогенеза является угловое несогласие, т. е. факт, что поверхность залегания более молодых пластов образует угол с более древними пластами. Это конечно справедливо для каждого нормального складчатого района. В альпийских областях с их опрокинутыми одна на другую складками, образующими плосколежащие складчатые покровы, это поло-

жение уже непригодно. Здесь нам известны лежащие складки в несколько десятков километров длиной (Гларнский покров, покров Дан-Бланш, плоские гнейсовые складки Монте Розы и т. п.), крылья которых лежат почти горизонтально. Если теперь на эти плосколежащие покровы надвигается новая трансгрессия, то угловое несогласие вовсе не везде может быть видно; более молодые свиты могут даже быть совсем снесены на протяжении довольно узкой полосы, где более древние пласты образуют перегиб.

Кажущееся согласие напластования легко может тогда быть принято за доказательство того, что образование складок имело место только после отложения более молодых пластов. В действительности же конечно имеет место как раз обратное. В Средней Европе это соображение не лишено значения для разделения каледонской и каменноугольной складчатости.

Эти соображения, которыми я хотел бы закончить мое исследование понятия времени, показывают, что распределение во времени орогенических фаз не менее условно, чем само биологическое понятие времени. Это ведь и не может быть иначе потому, что его корни лежат именно в этом биологическом понятии да и само распределение фаз таит в себе еще дальнейшие источники ошибок. По моему пока еще нет окончательного доказательства того, что орогенические процессы строго эпизодичны и охватывают всю землю, а потому должны принципиально иначе расцениваться, чем эпирогенические процессы; благодаря этому нельзя считать фазы за абсолютные марки времени (абсолютные даты). Разумеется, мы пользуемся эпизодическим подразделением как базисом исторического исследования для того, чтобы суметь распределить во времени всю многогранность явлений, но мы не должны забывать, что допущенное «diskretum» (прерывистость) орогенеза является абстракцией, которую мы вносим в ход событий во времени и что мы должны только с величайшей осторожностью использовать эту абстракцию, как основание для дальнейших выводов закономерности, особенно физической закономерности в ходе истории земли. Ведь в конце концов и этот фактический материал в отношении времени обоснован биологически, а потому не может явиться полноценной заменой физико-астрономического исчисления времени. Увязка (Kongtuenz) этих обоих путей исследования еще пока не достигнута.



Фиг. 26. Схема кажущегося согласия в складчатых покровах.

I — образование плоской лежащей складки; II — часичный снос и образование молодых отложений по краям складчатых, но очень полого лежащих пластов; III — новый подъем и разрыв в вершинности; остатки более молодых пластов лежат как будто согласно на складчатом основании.

Геологическая систематика

Общие данные

Каждая естественная наука стремится систематизировать понятия, связанные с бесконечным многообразием форм, явлений, и дать объяснение их общей закономерности. Метод же, ведущий к этой цели, может и должен быть в каждом отдельном случае иной. Особый род геологических объектов, развитие которых подчиняется, правда, общим законам точных естественных наук и биологии, но не может быть подвергнуто непосредственному или экспериментальному наблюдению, и особенности геологического понятия времени требуют особого метода, логические основы которого были подвергнуты анализу в предыдущем изложении. Мы выяснили, что всякая систематика форм явлений и каждый вывод относительно общих закономерностей должны исходить из положений исторического развития земли. Геологический метод должен быть прежде всего историческим, хотя этот исторический метод коренным образом отличается и своим понятием времени, и своей установкой на изучение явлений общего характера от метода гуманитарных исторических наук. Но цель, к которой мы стремимся, — генетическая систематика форм образования земли — может быть достигнута только путем исследования хода ее развития, т. е. путем сравнения процесса развития в различных частях земли. Только тогда, когда дана такая систематика, можно поставить вопрос об основных причинах явлений.

В наших познаниях о строении и развитии земной коры мы достигли теперь таких больших успехов, что уже можно отважиться на попытку подобной систематизации. Основой для этого должен служить ход рассмотренных выше геологических процессов — эпигенеза, орогенеза и плутогенеза; но и чисто морфологическая характеристика форм поверхности, основанная на различных видах экзогенных явлений (климат, выветривание, разрушительная работа ветра, воды, льда) используется при этом методе исследования и дополняет довольно существенным образом историко-геологический материал. При этом изучение остается эмпирическим, т. е. оно исходит из фактов, а не из предвзятой теории.

С такими основными предпосылками мы можем вкратце рассмотреть в качестве примера важнейшие формы явлений в земной коре в их исторической обусловленности.

Глыбы

Древнейшую часть европейского континента образует массив Скандинавии и Финляндии, так называемая Фенноскандинавская глыба или пра-Европа (Утегора). То что мы видим там сейчас,

представляет собой комплекс кристаллических сланцев нижнего глубинного яруса, пронизанных интеркрустальными плутоническими породами. На эту свиту местами несогласно налегают совершенно не измененные кембрийские и силурийские отложения, откуда следует, что здесь метаморфизм, орогенез и плутогенез являются очень древними, т. е. относятся к докембрийскому времени. Мы можем таким образом в этой области различить два яруса: во-первых, глубинную структуру (Tiefbau), претерпевшую складчатость, «отвердевшую» еще до начала биологически исчисляемого времени, и, во-вторых, верхнюю структуру (Oberbau), о которой можно сказать следующее.

С точки зрения эпигрогенеза этот район представляет собой почти на протяжении всей истории земли постепенно поднимающуюся глыбу; только в кембрии и силуре она была залита морем, которое однако по сравнению с окружающим отличалось более мелководным характером и малой мощностью осадочных образований. Здесь мощность осадочных пород составляет только 100—200 м, тогда как в Шонене она достигает 1 000 м, а в каледонских годах Норвегии — нескольких тысяч метров. В конце силура начинается непрерывный подъем с интенсивным сносом на поверхности, вследствие чего постепенно наиболее глубокие части цоколя, т. е. глубинной структуры, выступили на поверхность. Только после ледникового периода наступила опять местная неглубокая трансгрессия моря, которая вскоре еще раз сменилась поднятием. Это поднятие продолжается до настоящего времени. Весьма замечательным является констатирование того, что во время ледникового периода именно здесь, на этом массиве, была главная область накопления льда и район питания североευропейского оледенения, так как это явление повторяется и на других аналогичных глыбах. Так например канадский щит, возникший еще в архее, явился центром североамериканского оледенения, а в еще более глубокой древности пермское оледенение исходило из области массивов Южной Африки и Индии, имеющих аналогичное строение. В этом проявляется тенденция к непрерывному подъему, которая в случае благоприятных обстоятельств выносит поверхность массива даже выше границ оледенения. В то же время эти глыбы были районами ледникового сноса, т. е. разрыхленный льдом материал горных пород переносился отсюда в окружающие районы с другим геологическим строением.

В орогеническом отношении глыбы, после того как они благодаря метаморфизму и плутоническим интрузиям уплотнились и образовали глубинные структуры, стали устойчивыми, стабильными областями, так что верхние, перекрывающие их, коренные породы (Oberbau) не обнаруживают никаких следов тектонических воздействий. Это выражается уже в слабо измененном юном состоянии осадочных пород: глины часто мягки, пластичны, песчаники рыхлы, угли имеют несмотря на древний возраст состав бурых углей, ископаемые сохранились отлично.

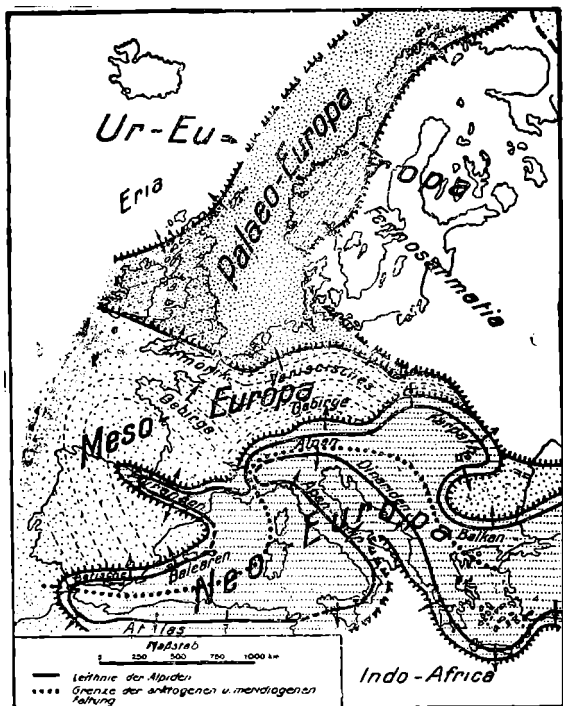
Осадочные породы верхней структурной зоны (Oberbau) залегают почти совершенно плоско; эти породы не затронуты складчатостью и чрезвычайно слабо нарушены сбросами. Единственное тектоническое явление состоит в трещиноватости, которая часто следует старым системам трещин, приуроченных к глубинной структуре. Это указы-

вает на то, что глыбы очень слабо реагировали на орогенические процессы: они смещались целиком всей массой, как говорят «en bloc»; древнейшая трещиноватость при этом проявлялась в виде слабых движений и в образовании новых трещин в породах верхней структуры.

Следовательно глыба представляет собою первичное основание континента, его ядро, к которому впоследствии припаялись другие элементы. Ее образование является таким же древним, как метаморфизм и переплавление ее глубинной структурной зоны (Tiefbau).

С этими процессами плутогенез в этой области также закончился. К позднему времени относятся лишь чрезвычайно редкие жильные и вулканические породы, чаще всего основного характера (базальты), которые следуют системе трещин глубинной структуры и лишь редко пронизывают несогласно породы верхнего структурного яруса.

Следовательно характерной чертой глыбы является противоположность между весьма измененной глубинной структурной зоной (Tiefbau) пород и не метаморфизованными и едва-едва диагенетически оцемментированными породами верхней структурной зоны (Oberbau), которые непосредственно налегают на доколь без всяких промежуточных членов.



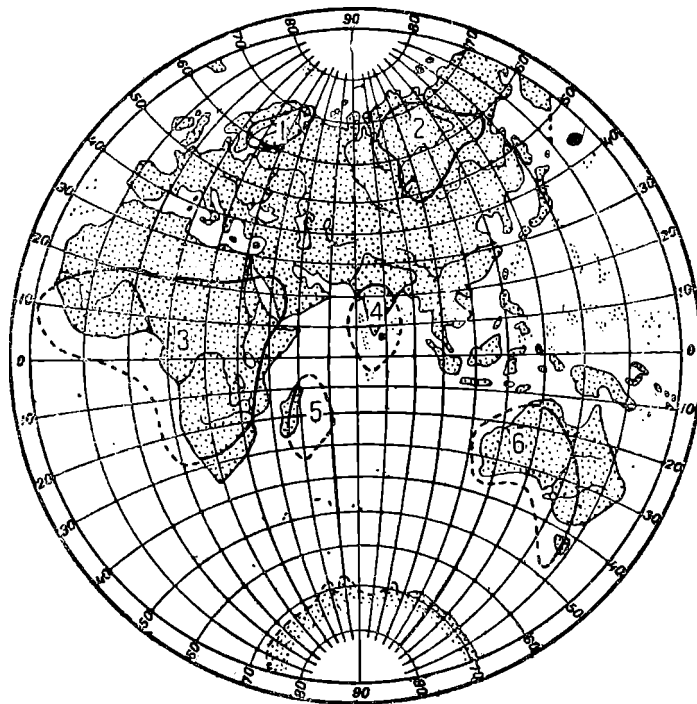
Фиг. 27. Тектоническое расчленение Европы по Штилле.

Можно сказать, что каждый континент имеет подобное ядро, которое представляет собою перманентную древнейшую основу континента.

Европа. Фенноскандинавский щит на севере, небольшая впоследствии разломанная масса в центре, остатки которой обнаруживаются в центральной Франции, в Шварцвальде, в средней Богемии и в Подолии.

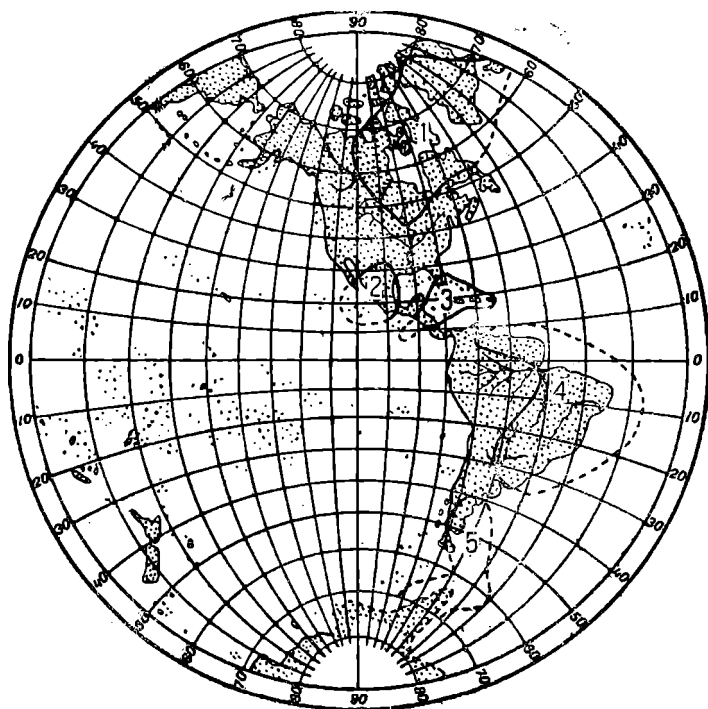
Северная Америка. Канадский щит, по своему строению и виду полнейшая параллель Фенноскандии.

Южная Америка. Большой, тоже очень древний, Бразильский массив.



Фиг. 28. Древние массивы.

1 — Балтийский щит; 2 — Ангарский щит; 3 — Центральная Африка; 4 — 5 — остатки Лемурии; 6 — Австралия. По Пирссону-Шухерту из курса геофизики Борна, 1926.



Фиг. 29. Древние массивы.

1 — Кавалейский щит; 2 — Колумбия; 3 — Аппалачия; 4 — Амазония; 5 — Архиплатта. По Пирссону-Шухерту, из курса геофизики Борна, 1926.

Африка. Значительные части центральной и Южной Америки; это может быть величайшая и наиболее цельная в мире глыба.

Азия. Здесь известны многочисленные, более мелкие ядра, которые только впоследствии спаялись в одну массу; северная и северо-восточная Сибирь, Сериндский массив, Китайский (Синийский) массив, Индия и т. п.

Австралия. Глыба простирается через центральную и западную часть материка.

Антарктика. Большая ее часть образована древней, еще и сейчас покрытой льдом, глыбой.

Шельфы ¹ (Schelfe)

Определение

В географии под словом «шельф» подразумевается мелководное море, которое находится между береговой линией и областью перехода материка к глубокому морю, т. е. часть, которая относится еще к цоколю континента. Но к этому понятию можно подойти также и с исторической точки зрения, если принять во внимание, что береговая линия представляет собою нечто более или менее случайное, зависящее от имеющейся в данный момент тенденции эпирогенических движений. В этом смысле шельфы представляют собой более или менее широкие окаймляющие полосы, которые лежат еще на цоколе континента, но часто заливаются морем. В эпирогеническом отношении они обнаруживают подобные маятнику колебания между плоской сушей и мелководным морем, а не ту единую тенденцию к постепенному подъему, как мы наблюдаем у глыб. Непрерывное чередование трансгрессий и регрессий выражается в циклическом чередовании осадков, которые едва ли когда-нибудь принадлежат очень глубокому морю. Многократная последовательная смена отложений является очень характерной для строения шельфа (фиг. 4):

суши
литторальных
неритовых
(батинальных)
неритовых
литторальных
суши

Шельфы вряд ли где-нибудь являются центрами оледенения; они представляют собою области ледниковой седиментации, где натрождается унесенный с массивов материал. К этому мы еще вернемся.

В отдельных случаях имеются конечно большие различия, что и должно наблюдаться при всех переходах, которые существуют между глыбами и относительно глубоко погружающимися шельфами.

¹ Термин „шельф“ в смысле, употребляемом Бубновым в его классификации, я предложил несколько лет тому назад передавать по-русски термином „плита“. В настоящем переводе я счел более удобным сохранить термин автора, хотя и считаю его неудачным. *Прим. ред.*

В эпигенетическом отношении различия выражаются в мощности и в связанном с глубиной характере осадков, в оротическом — в относительной интенсивности складчатости и разломов.

И в отношении плутогенеза имеются переходы между почти полным отсутствием вулканизма, что напоминает глыбы, и довольно интенсивной вулканической деятельностью, в том виде, как она проявляется в крупных вулканических массах средней Европы (Фогельсберг, Рен, Средняя Богемия). Но здесь речь идет только об излившихся породах, которые несогласно пронизывают покров осадочных пород и распространяются по поверхности в виде плоско залегающих излияний лав. Глубинные породы, особенно породы в виде согласно залегающих интрузий отсутствуют совершенно.

Чтобы выяснить проблему образования шельфов, следует рассмотреть оба крайних случая — Восточную и Западную Европу.

Стабильные шельфы (устойчивые плиты)

Кто по приезде из Финляндии займется изучением пород северной и средней России, тот будет поражен одной уже внешней разницей в их свойствах. Трудно представить себе более резкую противоположность. Вместо полностью измененных, метаморфизированных пород, условия образования которых лишь с трудом можно определить, исследователь встречает здесь вообще полное отсутствие следов воздействия жара и давления. Породы выглядят так, как будто они непосредственно поднялись с морского дна. Это можно сказать не только относительно более молодых отложений, но и о самых древних породах Европейской части СССР, а именно — о нижнекембрийских голубых глинах Ленинграда. Приведем несколько примеров. Эстляндский силурийский горючий сланец исключительно богат превосходно сохранившимися ракообразными и остатками раковин в таком виде, в каком они встречаются в Западной Европе главным образом в самых юных третичных отложениях. Известняк каменноугольных отложений часто является таким рыхлым и мягким, что напоминает меловые известняки Западной Европы. Угли Подмосковского района соответствуют по своим свойствам молодым бурым углям Германии, хотя они еще древнее каменных углей Германии. Юрские сланцеватые глины содержат прекрасных аммонитов с отлично сохранившейся перламутровой раковиной, что на Западе встречается чрезвычайно редко. Характер пород совершенно соответствует свойствам тех пород, которые встречаются в верхней структурной зоне (Oberbau) Фенноскандинавского щита, с которыми эти породы частично синхроничны. Следовательно они моложе, чем породы глубинной структурной зоны (Tiefbau) Финляндии, так как они налегают на последние несогласно, но они не древнее, чем большинство значительно сильнее измененных пород Западной Европы. Разница состоит только в степени изменения (диагенеза), которое впрочем в данном случае не требовало особенно высокой температуры и давления. Ведь уже нормальные условия, в которых находится порода, если она погребена под другими, вызывают некоторые изменения, которые мы обозначаем как диагенез (стр. 18); мягкие глины благодаря внутреннему перемещению частиц и отдаче воды превра-

щаются в твердые хрупкие сланцы; пористые известковистые пески благодаря выщелачивающему и отлагающему действию циркулирующих в них растворов обращаются в плотные известняки, причем заключающиеся в них остатки раковин или совсем, или частично разрушаются; рыхлые пески благодаря осадждению из содержащихся в них растворов превращаются в крепкие песчаники; богатый водою и газом бурый уголь превращается путем обугливания в богатый углеродом каменный уголь. Это не метаморфизм, так как здесь совершенно не является необходимым воздействие жидкой магмы. Диагенез начинается на сравнительно небольшой глубине и при небольшой мощности отложений, измеряемой всего несколькими метрами.

Но если диагенез отличается по своей силе, то это различие связано с тем, что породы испытали различные судьбы. Это действительно подтверждается фактами.

Бесконечно однообразно расстилается Русская равнина между Балтийским и Черным морями, между Польшей и Уралом. Каждая геологическая карта показывает, что здесь имеются колоссальные поверхности одних и тех же пород; но, если окинуть взглядом всю эту область в целом, можно обнаружить в ней своего рода концентрическое стресение с более молодыми пластами в середине, а также и то, что отложения отдельных геологических систем здесь налегают друг на друга, как плоские блюда. Такая картина на карте мыслима только в том случае, если пласты залегают совершенно плоско (почти горизонтально). Это заключение находит себе подтверждение в каждой каменоломне, в каждом обнажении, так как падение пластов здесь почти незаметно на-глаз, и только путем сравнения на большом расстоянии обнаруживаются наклоны, выражающиеся даже не в градусах, а в минутах. И внешние формы ландшафта и внутреннее строение представляют ту же однообразную картину.

Если мы, напротив, обратимся к Западной Европе, то мы заметим сразу невероятную внешнюю пестроту, почти калейдоскопическую смену рельефа средневысотных гор, высоких гор, разных плоскогорий и низменностей, которые покрыты ледниковыми наносами и заняты молодыми реками. Геологическая карта тоже показывает, что здесь ни один уголок не похож на другой, ни одна порода не имеет широкого распространения на поверхности, и кажется почти невозможным уловить известную систему в этом запутанном многообразии.

Если мы перейдем к непосредственному наблюдению, то обнаружим, что в Западной Европе редко встречается ненарушенное горизонтальное залегание пластов. Они почти всегда наклонены и притом под углами, которые заметны уже прямо на-глаз; часто пласты разломаны или приподняты, или опущены на сотни метров, часто они прорваны вулканическими породами или пронизаны глубинными магматическими массами.

Монотонной картине и несложной истории Востока противопоставляется на Западе необычайно сложное многообразие и «высокодраматическое» развитие.

Как мы уже видели, отклонение от горизонтального положения представляет всегда вторичное явление, т. е. выражение орогенеза.

который, разумеется, всегда идет рука об руку с усиленным давлением. Неудивительно поэтому, что все породы Запада подверглись, под влиянием более сильного движения, более сильному изменению даже тогда, когда эти изменения не доходили до настоящего метаморфизма, а оставались в стадии сильного диагенеза.

Можно как мы уже раньше видели, установить для Западной Европы три основных периода орогенеза, которые распадаются на различные фазы и обуславливают далеко заходящие изменения залегания и строения.

Ничего подобного не видно с первого взгляда в Восточной Европе. Орогенические процессы этого рода мы обнаруживаем только по ее границам в Скандинавии, на Урале, в Донецком кряже на юге Русской равнины и в Польше. Сама Русская равнина образует плоскую впадину, сложенную осадочными породами, центр которой надо искать примерно между Москвой и Волгой. Следовательно приходится признать, что здесь не было орогенеза, подобного западноевропейскому и что с этим связан неизменный «юный» облик суперкрупных пород. Но здесь возникает дальнейший вопрос, почему это произошло. Почему на Востоке развитие протекало совсем по-иному, чем на Западе? Почему здесь совсем не было горообразования? Чтобы выяснить это, нам необходимо еще несколько точнее установить некоторые характерные черты истории Восточной Европы.

Из вышесказанного еще нельзя сделать вывода, что обширные пространства Восточной Европы не испытывали вообще никаких движений на протяжении всей истории земли; эти движения конечно обнаруживаются, но носят совершенно иной характер, чем в Западной Европе.

Во-первых, надо напомнить, что Русская равнина много раз на больших протяжениях покрывалась морем, т. е. много раз погружалась под поверхность моря с тем, чтобы снова из него подняться в виде сплошной суши. В этом состоит коренное отличие от Скандинавии, которая была залита морем всего один раз после докембрийской складчатости и метаморфизма, а именно в кембрий-силуре, а затем опять представляла собою устойчивую область суши. В Восточной Европе, наоборот, почти все моря позднейшего времени оставляли свои следы, хотя за периодами морских трансгрессий и следовали снова периоды образования суши. В одном случае мы имеем следовательно твердо установившуюся тенденцию к поднятию, а в другом — колебание между морем и сушей.

Если мы рассмотрим следы древних морей в области Русской равнины, то нам станет ясно по характеру отложений и по существенным признакам содержащейся в них фауны и флоры, что эти моря были почти повсеместно мелководными и кроме того мы видим, что в этих морях, глубины и физико-географические условия оставались одинаковыми на больших протяжениях. В их отложениях мы встречаемся почти всегда с одним и тем же циклом:

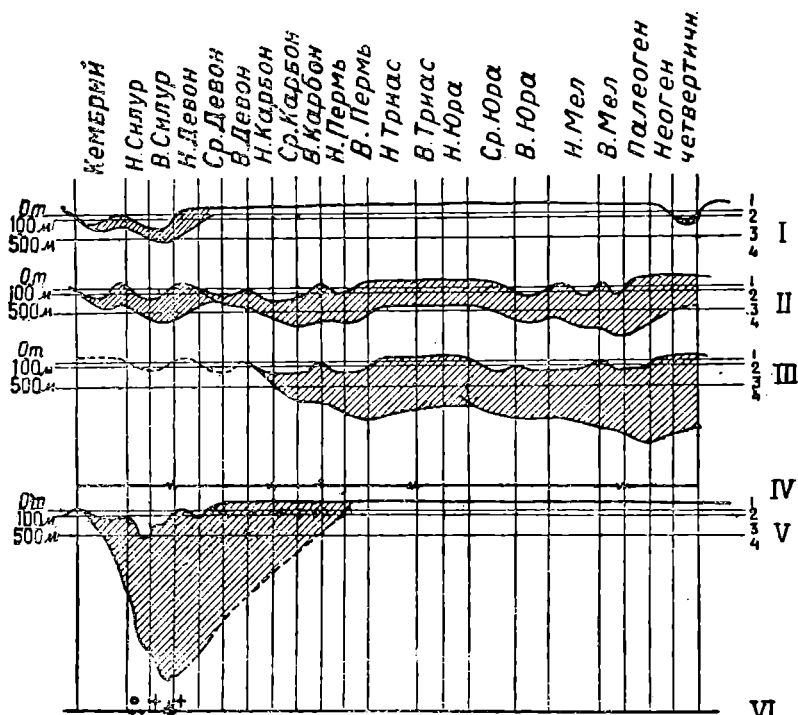
Вторжение моря — песчаники, береговые образования.

Максимальное распространение моря — известняки и доломиты, с мелководной фауной.

— Усыхание — пестрые глины с гипсом и солью.

Таким образом мы в них видим типичные вышеописанные условия мелководья (шельфа), от которых резко отличаются, с одной стороны, условия, господствующие на глыбах, а с другой — океанические.

У нас есть некоторые указания на то, что эти мелководные моря (шельфы) были раньше значительно шире, чем теперь. Благодаря этому центральная часть Русской равнины представляется собственно колоссальным однородным шельфом, который прилегал к кон-



Фиг. 30. Сравнительные историко-геологические кривые (см. стр. 41).

I — Скандинавская глыба; II — центральная часть Русской равнины, т. е. стабильный шельф Московской котловины (Schlüssel); III — восточная часть Русской равнины, т. е. несколько более подвижный шельф Фенлянда Урала; IV — орогенез в пределах Русской платформы; V — эпигенез в геосинклиналях; каледонские горы Норвегии (муфта Трондхем); VI — орогенез и плутогенез; кружки — вулканические извержения; крестики — интрузивные породы.

тинентальному цоколю Скандинавии и то слиялся с ним в один массив суши, то снова образовывал мелкое краевое море.

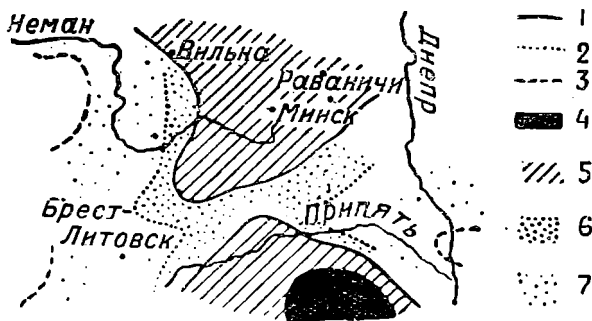
Что показывает нам в этом отношении Запад? И здесь мы видим непрерывную смену затопления морем и поднятия суши на поверхность, но характер этих наступаний моря отчасти другой. Если тут также могут отсутствовать типичные отложения глубокого моря, то мы все-таки имеем осадки морей, значительно более глубоких, чем русское, а главное, здесь наблюдается гораздо более сильная дифференциация физико-географических условий. Характер пластов, фауна — словом все, что геологически определяется как фация, редко остается одинаковым на большом протяжении. К тому же часто мощ-

ность осадочных пород значительно больше. Можно сказать, что здесь амплитуда вертикальных колебаний больше, а характер вызываемых ими изменений сильнее дифференцирован. Если признать и Западную Европу за шельф, то это будет во всяком случае очень подвижный, неустойчивый шельф, который противопоставляется устойчивому на востоке Европы, как нечто особенное, своеобразное. Он является также неоднородным, т. е. состоит из отдельных глыб, различных по своему характеру. Мы выясняем таким образом, что по истории образования суши, т. е. эпигерогенезу запад и восток Европы резко различны между собой; вряд ли надо говорить, что эти движения, одновременно охватывающие широкие пространства земной коры, ничего не имели общего с евригенезом. Они, по определению Штилле, отличаются широкой пространственностью (охватом больших пространств), проявляя свое действие на протяжении веков и не изменяют структуры, т. е. являются типично эпигерогеническими.

В пределах Русской платформы однако мы видим следы еще других движений, охватывающих меньшее протяжение, так называемые валы.

Валы представляют собой весьма плоские изгибы, еле заметные на глаз, которые обнаруживаются только тем, что в середине почти ровной Русской платформы появляются широкие полосы более древних пород, которые с двух сторон неодинаково (несогласно) перекрыты более молодыми осадочными отложениями. Угол этого несогласия часто почти не может быть измерен, но признаком его является тот факт, что более молодые пласты налегают в разных местах на более древние пласты различного возраста, благодаря чему можно сделать заключение, что этот слабый изгиб древнее серии более молодых пластов.

Самый западный вал проходит в западной части Русской равнины примерно в районе низменности Припяти (Полесье), у границ Польши и СССР. Он образует, так сказать, западный борт Русской впадины, как бы мост, который связывает между собою кристаллическую плиту Подолии и Украины (южный край впадины) с кристаллическим массивом Финляндии (северный край). В этом Полесском или «Скифском» валу, который тянется от Волыни до Минска по направлению к северу, а затем поворачивается на северо-восток к Ладожскому озеру, Кужняр (Kuzniar) установил на юге движения в нижнем девоне, нижнем карбоне, в меловых и третичных отложе-



Фиг. 31. Полесский (Скифский) вал в Белоруссии, слабое сводчатое поднятие более древних пластов. По Кужняру (Kuzniar) из кн. Bubnoff, Geolog. v. Europa, I, 1926.

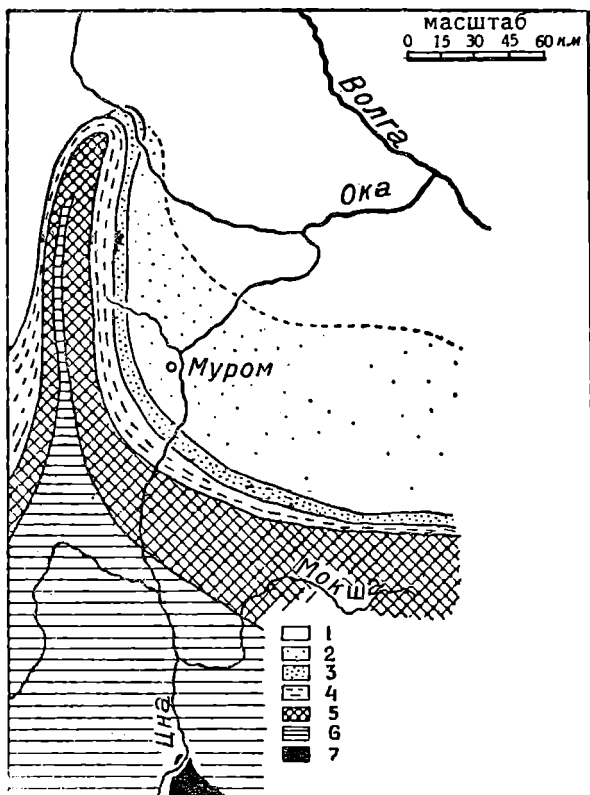
1 — граница отложений сеномана; 2 — граница отложений песч. мела; 3 — граница отложений палеогена; 4 — кристаллический массив; 5 — девон и юра; 6 — сеноман; 7 — песч. мел.

ниях. Далее на северо-востоке, где этот вал отделяет восточнобалтийскую мульду от Русской впадины, наблюдается наличие только более древних пластов, а именно кембрия, на котором со слабым несогласием залегает средний девон. Здесь следовательно возможно установить только слабый изгиб нижедевонского возраста, который

соответствует и по направлению и по времени древним, так называемым каледонским горам Норвегии.

Три остальных русских вала имеют подобную же структуру, но имеют направление почти прямо с севера на юг и параллельны и по направлению и по времени образования Уральским горам (фиг. 32 и 33).

Возникает вопрос, являются ли эти широко простирающиеся изгибы орогеническими или эпирогеническими. Я, считаю (Geologie von Europa, I, 1926), что здесь центр тяжести в моменте возникновения и в параллелизме с орогеническими движениями по краю Русской платформы, рассматриваю валы, как слабое проявление орогенеза. Скупин (Skupin, Ostbaltikum, 1928), напротив, видит в широкой протяженности, слабости едва заметного несогласия,



Фиг. 32. Эскизная карта Окско-Центрального вала на Русской платформе. По Архангельскому, из Бубнова (Bubnoff, Geolog. v. Europa, I, 1926).

1 — татарские слои; 2 — казанские слои под татарскими; 3 — казанские слои; 4 — нижняя пермь и шаагериновые слои; 5 — гжельский ярус; 6 — московский ярус; 7 — нижний карбон.

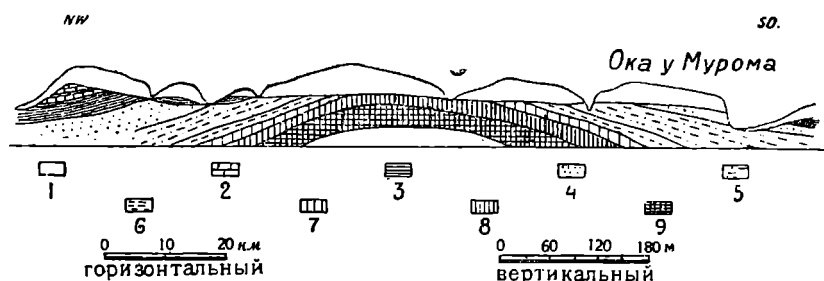
в северной части Полесского (Скифского) вала доказательства в пользу того, что это типичное проявление эпирогенеза и что здесь отсутствует связь с древней каледонской складчатостью.

Ввиду принципиальной важности вопроса, я считаю нужным посвятить ему несколько слов.

Эти валы, разумеется, было бы возможно рассматривать как переходные образования между эпирогеническими и орогеническим, по этим была бы, пожалуй, внесена только расплывчатость в установленные определения понятий.

Прежде всего, что касается широкой протяженности, то здесь

надо заметить, что это понятие не представляет собою абсолютного масштаба, но употребляется по отношению к еще большим, однородным по своему характеру единицам земной коры. Если они относительно малы, как в Западной Европе, то и сравнительно небольшой массив кажется имеющим обширное протяжение; если же мы имеем дело с такими величинами, как вся Русская платформа, то относительно широкие валы кажутся узкими. Основной пункт определения состоит следовательно в том, что эпирогенез однородно перемещает крупные глыбы, а орогенез создает внутри этих глыб вторичное подразделение на разнородные элементы. В русских валах мы имеем как раз такой случай. Можно также сказать, что орогенез образует



Фиг. 33. Профиль через Окско-пинский вал. По Архангельскому. Из Бубнова (Bubnoff, Geologie von Europa, I, 1926).

1 — четвертичные слои; 2 — нижний мел; 3 — юра; 4 — татарские слои; 5 — казанский ярус; 6 — нижняя пермь; 7 — свабериювые слои; 8 — гжельский ярус; 9 — московский ярус.

новые тектонические единицы, которые впоследствии при эпирогенических движениях реагируют различно. С этой точки зрения уже теряет принципиальное значение вопрос, измеряется ли изгиб градами или минутами, что представляет собой лишь различия в степени, а не по существу.

Во-вторых, надо принять в соображение следующее: наблюдения Скупина ограничиваются балтийской мульдой, т. е. районом очень слабого попружения Эстонии и Лифляндии, которое сопровождается с северо-запада Полесский (Скифский) вал и представляет аналогию с Русской впадиной в юго-западной части вала. Следует сказать кроме того, что им здесь без дальнейших оснований принимается, что несогласие между девоном и силуrom может совсем сходить на-нет.

Однако этому противоречит указание Карпинского, относящееся к району вала, о том, что там имеются ясные складки пород кембрийского возраста, на которые несогласно и трансгрессивно (фиг. 34) налагается девон¹.

¹ За последнее время накопились факты, заставляющие сильно сомневаться в существовании дислокаций, описанных А. П. Карпинским в районе Полесского вала (на р. Ловати). Возможно, что островки кембрия и силура, известные в этом районе, являются огромными отторженцами, залегающими в ледниковых отложениях и принесенными ледником. Подобные явления были недавно доказаны в отношении нижнего карбона так называемого Вышневолоцко-Новоторжского вала и для выхода кембрия у м. Гаваничи в южной части Полесского вала.

Прим. ред.

Следовательно очень возможно — и все наблюдения это подтверждают, — что в мульдах господствует кажущееся согласие, тогда как несогласие, т. е. ясное орогеническое движение, концентрируется в валах или узких зонах поднятий.

Этот, часто привлекающий недостаточное внимание, факт локальной ограниченности движений, которые являются заметными только в седловинах, но не оставляют никаких следов в широких мульдах, должен быть особенно подчеркнут потому, что он разъясняет многие различия в понимании явлений и для Западной Европы.

Если мы будем исходить из этого положения по отношению к валам Русской платформы, то они явятся перед нами как типично орогенические образования, которые отличаются лишь своей степенью от складчатости и разломов Западной Европы, по направлению же и по времени возникновения они представляют собою отголосок этих



Фиг. 34. Схематический профиль Полесского (Скифского) вала.
1 — кембрий; 2 — нижний силур; 3 — верхний силур; 4 — девон; 5 — карбон; 6 — юра.

более сильных движений по краям. От чего же зависит эта слабая подвижность? Ясно, что в неизменном, слабо сцементированном покрове осадочных пород Русской равнины боковое давление не может передаваться на протяжении сотен километров; эта осадочная «кожа» может только пассивно перемещаться вместе с жестким основанием.

Такое основание (Untergrund) действительно существует, потому что осадочные породы Русской впадины налегают на севере на древние глубоко метаморфизованные гнейсы и потому что подобные же кристаллические породы на юге России вновь появляются из-под неметаморфизованных осадочных пород.

Эти древние отвердевшие породы образуют «базальную защиту» или защитный фундамент (Basalschutz), который предохраняет осадочные породы Русской платформы от орогенических изменений структуры, препятствует метаморфизму перекрывающих пород, но в то же время в известной мере передает через себя движения в краевых районах.

Мы выше уже видели, что область кристаллической глыбы Феноскандии проявляет также совсем слабые орогенические импульсы, что и там местами существуют разломы и трещины, отделяющие слабо поднятые или погруженные участки. Подобные орогенические движения, которые обнаруживаются в твердом цоколе разломами, могут вызвать в мягких перекрывающих осадочных пластах, равномерно пассивных, лишь слабые изгибы, т. е. как раз образовывать валы.

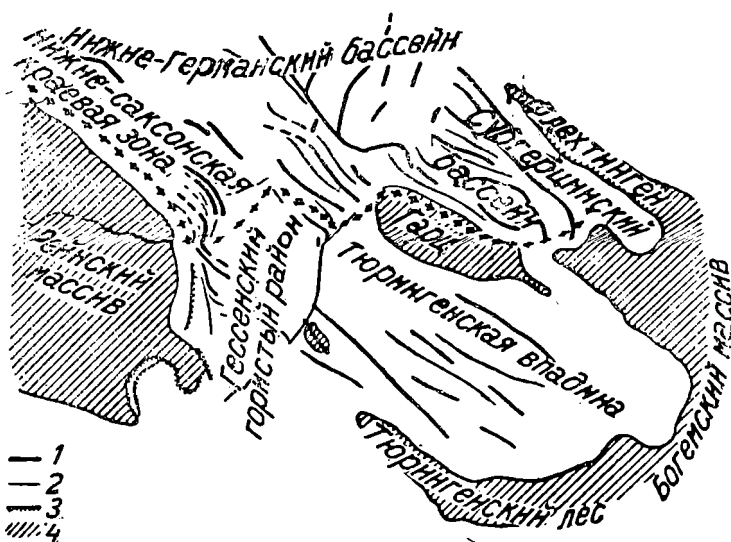
Твердый защитный фундамент, кристаллическая глубинная структурная зона (Tiefbau) следовательно залегает под почти не измененными поверхностными отложениями верхней структурной зоны (Oberbau) Русской равнины и настолько ослабляет все ороге-

нические движения, что они становятся заметными только местами (в зонах слабости фундамента) и выражаются едва заметными изгибами.

Стабильный шельф Восточной Европы в конечном счете будет отличаться от глыбы не принципиально, а лишь степенью подвижности; общим для них является здесь противоположность гнейсового глубинного структурного яруса (Tiefbau) неизмененному верхнему структурному ярусу (Oberbau), а различия выражаются в мощности последнего и, до известной степени, в силе оротенеза.

Лабильные шельфы (неустойчивые плиты)

Стабильному русскому шельфу противопоставляются в Западной Европе более подвижные элементы, как например столь детально



Фиг. 35. Лабильный, неоднородный шельф средней Европы (Саксония).
По Штилле.

1 — оси поднятий; 2 — оси опусканий; 3 — сбросы; 4 — глыбы.

изученная Штилле область среднегерманской складчатости, парижский бассейн, в некоторых отношениях сходный с ним по своему строению пражский район силура и т. п. Совершенно сходный характер носит прикаспийская впадина к югу от Урала.

Если мы попробуем установить различия со стабильным шельфом, то мы можем выявить три существенных пункта.

1. Фундамент образуют здесь не однородно «огнейсованные» породы глубинного структурного яруса, а палеозойская, гораздо более разнообразная и слабее метаморфизированная складчатая область (Варисийские горы Западной Европы, альгонские складки центральной Богемии, верхнепалеозойская складчатость Урала).

Этот фундамент во многих отношениях отличается от скандинавского и русского глубинного структурного яруса. Однако там, где

этот нижний структурный ярус (Unterbau) приобретает характер однородного гнейсового глубинного структурного яруса (Tiefbau), там связи со стабильным шельфом становятся опять теснее (южнонемецкая равнина с подстилающими ее гнейсами шварцвальдским и южной Богемии, древний красный континент Шотландии¹, Галицийское плато, залегающее на подольских гнейсах). Неоднородности цоколя соответствует здесь такая же неоднородность в эпирогенических и брегенических процессах, проявившихся в области лабильного шельфа.

2. Осадкообразование значительно интенсивнее, т. е. в эпирогеническом развитии обнаруживается более продолжительное и более сильное погружение. Если мы вспомним, что мезозойские осадки (триас — мел) в северной Германии имеют мощность в несколько тысяч метров, что палеозойские отложения Богемии (кембрий — девон) достигают мощности 3 000—4 000 м, что в сходно построенной прикаспийской впадине на юго-востоке континента мезозойская серия пластов имеет мощность в 2 700 м, то на этом основании мы можем сделать заключение о значительном погружении; так как эти осадки несут характер отложений более глубокого моря, мы должны признать, что устойчивое погружение должно было компенсироваться осадкообразованием. В противоположность этому стабильные шельфы имеют мощность осадочных пород, почти не превышающую 1 000 м.

3. Третий пункт касается характера горообразования. Оно выражается комбинацией слабой складчатости пластов с образованием разломов, т. е. дислокаций осадочных пород с преобладающей вертикальной составляющей. Это «германотипное» (по Штилле) горообразование основным образом отличается как от простых, широко простирающихся изгибов Русской платформы, так и от складчатости и тектонических покровных структур гор альпийского типа. Наряду с тем фактом, что вертикальные разломы комплекса пластов часто имеют перевес над складчатостью, характерной особенностью этого типа горообразования является известная неправильность в расположении складок, и образование коротких, со всех сторон замкнутых, куполов и котловин (брахиантиклиналей и брахисинклиналей) (ср. фиг. 7). Вместо далеко прослеживающихся антиклиналей и мульд, какие мы видим в Альпах, здесь появляются замкнутые, только усложненные разломами, сводчатые поднятия и котловины, вроде тех классических форм, которые мы встречаем в Ганновере (мульда Гильса); структуры совершенно аналогичного вида мы знаем также и в Судетах (горы Бобер-Кацбах) в пражском силуре или в прикаспийской впадине.

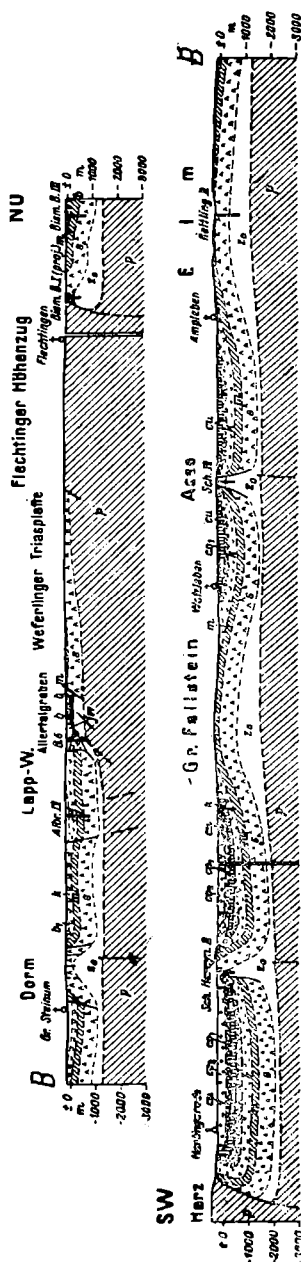
Одной из величайших заслуг Штилле является выяснение механизма этой «обросовой складчатости» (Bruchfaltung). Он указал также на то, что с этим типом горообразования тесно связан ряд других вопросов. Чем мощнее бывает покров осадочных пород, тем «совершеннее», но в то же время и сложнее оказывается складчатость; чем сильнее древняя складчатость нижнего структурного яруса, тем сильнее ее тормозящее действие на движения верхнего покрова.

¹ Здесь подразумевается область развития древнего красного песчаника девона в Шотландии. *Прим. ред.*

Совершенно независимо от того, соответствуют ли новые импульсы орогенических движений, под влиянием которых верхний структурный ярус образует разломы или сминается в складки, древним движениям или нет, это верхний ярус подчиняется им лишь в том направлении и постольку, поскольку это позволяет уже смятый в складки нижний структурный ярус. Тот факт, что складчатость поверхностных осадочных пород часто является несовершенным отображением глубже лежащей структуры (Unterbau), часто чрезмерно широко обобщался и обозначался как поступные горообразовательные движения.

4. Соответственно более сильному орогенезу и образованию трещиноватости и вулканизм в неустойчивых неоднородных шельфах оказывается значительно сильнее. Это обнаруживается еще в Европейской части СССР, там, где стабильная Русская платформа по направлению к югу переходит в более лабильную Южнорусскую впадину; здесь тотчас же выступают базальты Подолии. В молодом вулканическом районе Западной Европы это пронизывание вулканическим материалом достигает однако более сильной степени. Начиная от центрального плато Франции, через Эйфель, Рейн, Среднюю Богемию и до Верхней Силезии сохранились бесчисленные следы этого вулканизма.

Так как строение гор, образованных верхним структурным ярусом, зависит от мощности осадочных отложений (погружения) и от степени отвердения или «консолидации» (т. е. складчатости и перекристаллизации) нижнего или глубинного структурного яруса, то отсюда ясно, что между устойчивым и неустойчивым шельфом должны существовать переходы; они действительно имеются. Мы видим таковые например в более глубоко погружении и более складчатом форлянде Урала (Восточнорусская впадина), в относительно мало подвергшейся



Фиг. 36. Профиль через Субгерценский бассейн; германотипная сбросовая складчатость. По Вольдштедту.

движению и мало погруженной столбовой возвышенности Швабского Альба, в сильно складчатом, способном к сопротивлению (жестком) каледонском основании (смятом в складки в верхнем силуре), на котором покоится шельф средней Англии. Эти переходные стадии не

являются противоречиями, но представляют собою естественное следствие того же исторического принципа, по которому горообразование должно протекать в строгой зависимости от общего историко-геологического развития.

Типы лабильных шельфов неоднородного характера представляют собою широко распространенную форму. Парижско-лондонский третичный бассейн, Южнорусская впадина, лежащая к югу от Русской платформы, Каспийская впадина на крайнем юго-востоке континента и наконец, как недавно показал Штилле, часть Испании, между кристаллическим массивом Мезеты на западе и Пиренеями на востоке, обнаруживают одни и те же основные характерные черты. Типичным является во всех случаях особый характер орогенеза: складки коротки и в противоположность горам альпийского типа расположены не в одинаковом направлении. Они часто приурочиваются к границам окружающих массивов, так что действительно можно говорить об «обрамленной складчатости» (*Rahmenfaltung*); этим подчеркивается, что при этой слабой складчатости препятствующее действие твердой рамы для прохождения складок имеет большее значение, чем односторонне направленный напор. Фундаментом являются во всех случаях складчатые, но не сложенные однородными гнейсами более древние горы каледонского или верхнепалеозойского возраста, иными словами нижним структурным ярусом, следовательно как бы промежуточным звеном между глубинным и верхним структурным ярусами. Изменчивый состав этой структурной зоны и обуславливает неоднородность шельфа.

Надо еще кратко остановиться на границе между Западной и Восточной Европой. Обычно эту границу проводят вдоль линии, идущей от Среднепольских гор через Куявию, близ Иноврацлава, южный конец Борнгольма, до Шонена, отделяя здесь шведское, кристаллическое плато от кембро-силурийских отложений Шонена. При таком делении Восточная Пруссия и большая часть Польши оказываются отнесенными к Русской платформе.

Доказательство правильности такого деления усматривается в наличии ясных, хотя и сильно различающихся по времени и характеру, нарушений вдоль названной линии, и из того факта, что к юго-западу от нее мы видим сложную орогеническую структуру, а к северо-востоку преобладание простых условий.

Я лично смотрю на этот вопрос несколько иначе и усматриваю настоящую границу между Западной и Восточной Европой в вышеуказанном Полесском валу, который тянется от Польши через болота Припяти и Пииска до б. Новгородской губернии. Балтийскую мульду, т. е. Эстляндию, Лифляндию, Восточную Пруссию и северную Польшу я отношу вполне определенно еще к Западной Европе. Руководящее значение в данном случае имеет в первую очередь тот факт, что по новым данным орогенические нарушения в Восточной Пруссии не отсутствуют совсем, а только постепенно затухают к северо-востоку. Названная линия Шонен — Среднепольские горы не указывает следовательно никаких принципиальных изменений структуры. Далее, из всего сказанного выше уже выясняется, что не только различия в степени орогенеза, но и общее эпигенетическое развитие — полная история формирования — определяют

характер того или иного участка земной коры. В этом отношении Прибалтийский край совершенно определенно связан с Западной Европой.

Намеченная таким образом линия раздела является, как мы сейчас покажем, характерной даже для хода событий в течение периода североευропейского оледенения.

Образование форм поверхности шельфов

Благодаря очень различным генетическим условиям морфологическая картина шельфов бывает также очень разнообразна. Стабильные шельфы, которых совсем или почти не коснулась дифференциация, вызываемая орогенезом, образуют широко расстилающиеся равнины, имеющие по большей части однородную гидрографическую сеть, объединенную в ряд крупных водных систем; часто на их границе с глыбами образуются крутые уступы (глинт), обращенные фасом в сторону глыб. Глыбы, хотя и образуют обширные равнины, преимущественно также низменности, но имеют благодаря большой сложности строения фундамента, пересеченного системами трещин, более многообразную, сильно извилистую, гидрографическую сеть, связанную часто с бесчисленными болотами и озерами.

В малом масштабе повторяется внешняя картина столового равнинного ландшафта, характерная для стабильного шельфа также и в районах неоднородного шельфа, там где верхний структурный ярус непосредственно налегает на твердый однородный гнейсовый цоколь, как например в швабско-франконском альбе; ступенчатый ландшафт по его краю представляет собою до известной степени аналогию глинту. В общем же неоднородный шельф отличается сложной мозаикой резко изменяющихся форм рельефа; среднегерманский ландшафт между Рейном и Одером является типичным примером: небольшие островки древних горных сооружений (глыбы второго порядка), отдельные обломки столовых плато, слабоскладчатые участки верхнего структурного яруса чередуются друг с другом и обуславливают богатый разнообразием, чарующий своими картинами ландшафт средневысотных гор. Речная сеть конечно многообразна и часто не согласована.

Однородный лабильный шельф обнаруживает, наоборот, преобладающую тенденцию к погружениям; ведь на нем в течение многих геологических веков накапливались колоссальные по мощности толщи отложений. Здесь таким образом прежде всего возникают широкие низменности, лишь слегка поднимающиеся над уровнем моря, а порою, как в районе Каспийского моря, лежащие даже ниже морского уровня и обычно сверху перекрытые мощными покровами юных наносов. Из-под этого покрова выступают отдельные купола смятых в складки пород; последние часто заключают в себе соляное ядро, а на их крыльях может скапливаться нефть, почему эти оба полезных ископаемых, требующие для своего образования определенных фациальных условий, чрезвычайно характерны для лабильных шельфов.

Несколько более подробного рассмотрения требует выяснение вопроса об отношении шельфа к условиям ледникового периода, так

как здесь открывается целый ряд чрезвычайно значительных и важных для характера шельфа зависимостей. При этом надо исходить из рассмотрения области североευропейского оледенения.

Расчленение Европы на основные элементы обнаруживает замечательную симметрию по отношению к древнему ядру континента — массиву Фенноскандии. С запада и с востока к этому древнему ядру примыкают две отчетливых депрессии — Северное море и район, прилегающий к Белому морю. Правда, последняя из названных депрессий в настоящее время лежит немного выше уровня моря, но в самом недавнем прошлом она была залита арктическим иолдиевым морем, так что тогда это симметричное расположение было еще нагляднее. Эти впадины могут быть указаны по меньшей мере со времен юрского периода.

За названными депрессиями на западе возвышаются древние каледонские горы Англии и Шотландии, а на востоке несколько более молодые, но также палеозойские горы Урал—Новая Земля.

Симметричное расположение выявляется уже в девоне, в котором границы первобытного североευропейского континента можно проследить на западе от Шотландии до Ахена, а на востоке от Белого моря до Кенигсберга, а может быть и до Шлезвига.

С юга древний массив Фенноскандии также сопровождается депрессиями; на юго-западе находится лабильный шельф средней Европы (парижский бассейн, северогерманская низменность, балтийская мутьда), а к востоку — более стабильный шельф московской котловины. Между ними как разделяющая их гряда вдвинут Полесский вал восточной Польши и Белоруссии.

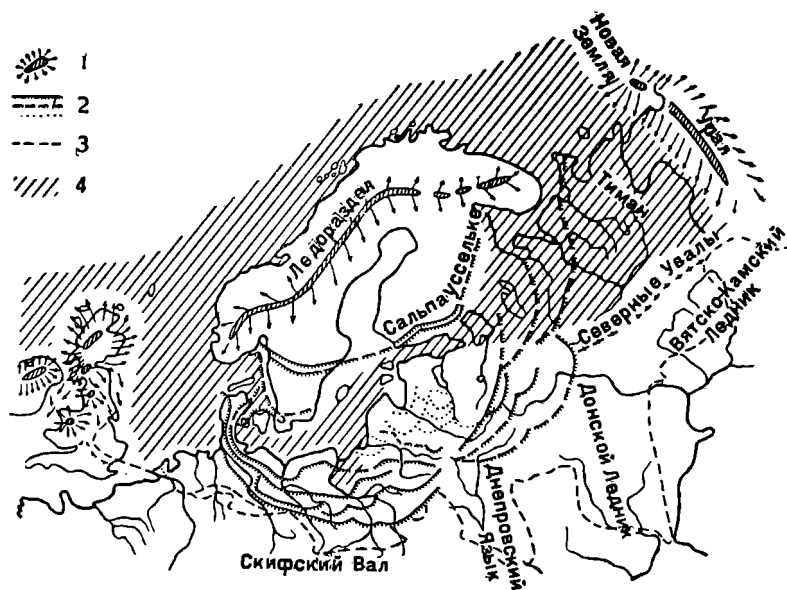
Южнее высятся пояс среднеевропейских средневисотных гор от центрального плато Франции до Судет в Западной Европе, от Подольского массива до плато Ус-Урта — в Восточной. И это деление является чрезвычайно древним. Франко-подольская гряда намечается еще, начиная с кембрийского периода. Названные крупные участки (Grossschollen) сохранили свой эпигенетический характер на протяжении больших периодов времени.

Сейчас уже довольно единодушно высказываются за то, что ледниковая шалка, существовавшая во время ледникового периода, которая перепружала Скандинавию при своей мощности в 2 000 м, а северную Германию — при мощности в несколько сот метров, несомненно значительно повлияла на распределение веса материка. Ближайшим следствием этого должна была явиться общая депрессия, но отдельные глыбы с различной эпигенетической тенденцией реагировали различно: в то время как районы поднятий впоследствии проявляли свою нормальную тенденцию к подъему, районы погружения остались глубоко опущенными. В северной Германии ложе четвертичного покрова еще и сейчас лежит на 100 м ниже уровня моря, хотя здесь нет доледниковых морских осадков, которые указывали бы на дочетвертичное покрытие морем; следовательно здесь погружение произошло лишь в ледниковый период и до сих пор еще не выровнялось.

Итак Фенноскандия была областью ледниковой эрозии, а окружающие впадины — областями аккумуляции; сгруппированные вокруг ледяной шалки «периглациальные» гряды от Шотландии че-

рез среднюю Европу до Урала образовали целый венок мелких самостоятельных областей оледенения (Шотландия, Уэльс, Ирландия, Вогезы, Шварцвальд, Исполиновые горы, Карпаты, Урал, Тиман, Новая Земля) со сложным переменным действием в этих районах речной эрозии, речной и эоловой седиментации.

Таким образом выявляется связь отдельных этапов истории ледникового периода с эпигерогенетическим характером частей континента. Но эта связь становится еще теснее, так как в действительности эпигерогенетический характер глыб оказал влияние на движение и распространение льда. Это особенно можно проследить в последнюю лед-



Фиг. 37. Четвертичное морфологическое ледниковое разделение Северной Европы.

1 — центр оледенения и направление движения ледников; 2 — положение остановок (стационарного состояния) ледника последнего оледенения; 3 — границы максимального оледенения; 4 — участки, покрытые морем.

никовую эпоху, которая лучше поддается изучению, чем история предыдущих.

Отдельные фазы последнего ледникового периода были недавно исследованы геологом Вольдштедтом (Woldschtedt) в пределах Германии. По его данным мы можем наметить три или даже четыре остановки льда, которые местами необычайно четко намечаются конечными моренами; при этом самая южная является самой древней. Начиная с севера мы видим (фиг. 37):

Балтийско-Померанская линия конечных морен (Балтийско-Померанская фаза или стадия): ее можно проследить от восточной Ютландии, через Киль, Померию, Данциг до северной части Магурии.

Ютландская линия конечных морен (Ютландская фаза) в центральной Ютландии общая, а затем распадается на:

Познанскую краевую линию морен. Южный Мекленбург, Укермарк, Барнимерское плато — к северу от Берлина, Познань, Гнезенау;

Бранденбургскую краевую линию, ответвляющуюся от предыдущей в Пригнице, затем прослеживаемую южнее Берлина и в южной Познани, а далее к востоку снова сливающуюся с предыдущей.

Линия конечных морен Флеминга (фаза Флеминга). Граница идет примерно из окрестностей Гамбурга, к югу по Эльбе, севернее Магдебурга пересекает Эльбу, а затем проходит через Флеминг, Лаузиц, Требницкие горы — севернее Бреславля.

Значительно моложе этих четырех фаз большой ряд конечных морен, который начинается от морены Мосс-Гортен у Осло, пересекает среднюю Швецию и продолжается по другую сторону Ботнического залива по хребту Сальпаусселька в Финляндии.

Если мы захотим охарактеризовать эти гирлянды конечных морен, то нам бросится в глаза, как самое существенное, то, что они образуют вогнутые к юго-западу дуги и все сходятся к Скагерраку, имея там, так сказать, «точку подвеса».

Теперь уже можно с некоторою уверенностью дать продолжение этих гирлянд к востоку.

Между краевыми положениями померанской и познанской фаз в Восточной Пруссии лежит Мазурское озерное плато совершенно так же, как эти краевые положения охватывают далее к западу Мекленбургское озерное плато. В бывшей русской Сувалкской губернии они подходят еще ближе друг к другу и образуют за Мемелем южнее реки Вилии сплошной, ясно выделяющийся, моренный пояс.

Бранденбургская краевая зона должна по Вольдштеду соединиться с предыдущими еще в Познани; говорить об этом с полной уверенностью нельзя, тем более, что она могла бы продолжаться в одну из среднепольских краевых конечноморенных зон и примерно под Варшавой пересечь Вислу. Далее она должна вероятно также отклониться к северо-востоку и продолжаться в дуге конечных морен южнее Гродно, сливаясь еще дальше к северо-востоку, примерно близ Минска, в пределах западнорусской пряди с соединенными между собой более молодыми краевыми положениями и конечными морен.

Древнейшая фаза (Флеминг) на юге выступает также ясно. Эта линия проходит к северу от Ченстохова, пересекает Вислу — южнее Пулавы, Буг — южнее Влодавы, где конечные морены еще развиты, и затем тоже резко отклоняется к востоку, чтобы слиться со всеми названными выше конечными моренами в районе Барановичи — Минск.

Западнорусская гряда, которая представляет собою повернутое к северо-востоку продолжение балтийской, обнаруживает таким образом у Минска скупивание (шарунг) всех расходящихся к западу лучами конечноморенных полос. Но и дальнейшие, еще более молодые, конечноморенные полосы включаются сюда же; такова прежде всего например большая конечноморенная дуга Гохцамайтена, которая продолжается в морены к северу от Вилии и сходитесь на Березине со всеми остальными линиями. Большая за-

слуга Мортензена (Mortensen) и Крауса (Kraus) состоит в том, что они со всей остротой указали тот факт, что балтийско-западно-русская гряда является не просто скоплением конечных морен, а областью сближения конечных морен различного возраста.

Только к северу от последнего из названных — положения остановки — начинается таяние льда в отдельных языкообразных бассейнах, которые идут от Рижского залива, доходят до реки Волхова и представляют собою стадию, предшествующую окончательному отступлению края льда к огромным южнофинским дугам конечных морен.

Что же мы видим далее к востоку¹?

Западно-русская гряда должна к северо-востоку перейти в Валдайскую возвышенность, в центральной части Русской равнины. Это однако лишь условно верно, так как Валдайская холмистая страна образует по Танфильеву и Соболеву четыре отдельных ряда возвышенностей, простирающихся с юго-запада на северо-восток.

В направлении с северо-запада к юго-востоку насчитываются следующие гряды:

1. Валдайская гряда в тесном смысле слова; максимальная высота около 321 м; делится к югу на две ветви, из которых одна уходит прямо на запад и продолжается в краевые морены Балтийского бассейна, тогда как другую можно проследить до верховьев Березины.

2. Осташковская гряда, которая сходится и к северо-востоку, и к юго-западу с предыдущей.

3. Достигающая почти 300 м высоты Вышневолоцкая гряда, которую можно проследить до верховьев Волги, сходится далее к югу с предыдущей во флювиогляциальной равнине верхнего Днепра и Березины.

4. Более низкая и размытая Смоленско-московская гряда, которая однако все-таки ясно простирается с одной стороны до верховьев Днепра, а с другой до б. Вологодской губернии.

Отдельные детали этого деления, правда, еще недостаточно изучены, но замечательно, что эти чисто объективно полученные из литературы данные обнаруживают поразительную аналогию с Западной Европой. Надо еще в особенности заметить, что между первой и второй грядой находится озерный район, совершенно так же, как между померанской и познанской фазами на западе, и что внешняя (четвертая) гряда имеет такие же размытые формы, как морены фазы Флеминга (на западе). Она отделяет, покрытый моренами, лесной ландшафт северной части Русской равнины от покрытого лесом степного ландшафта юго-востока, что всецело соответствует условиям внешней границы последнего оледенения на западе.

Итак мы видим здесь как и в Западной Европе четыре конечно-моренных полосы, сходящиеся к юго-западу примерно к району Минска и таким образом последний является областью скучивания не только западных, но и сходных по строению восточных моренных дуг.

¹ Bubnoff. Das Quartär in Russland. „Geol. Rundschau“. Н. 3, 21, 1930.

Вряд ли можно считать случайностью, что это сгущивание приурочивается к району Полесского вала, который является великой линией раздела между Западной и Восточной Европой (см. стр. 127). Здесь, в области древней зоны поднятия между балтийской мульдой и московской котловиной возникает это невероятное нагромождение всех продвигающихся к югу и юго-востоку ледяных гирлянд, которое продолжается вплоть до самых поздних фаз последней ледниковой эпохи (готитлациальное время по де-Гееру).

Дальнейшее продолжение гряд к северу Русской равнины еще во многом неясно. Однако, кажется, что Валдайская гряда в тесном смысле слова продолжается между Ладожским и Онежским озерами, но может быть имеет еще боковое ответвление, которое можно проследить до Онежской губы на Белом море (Осташковская гряда). Точно также Вышневолоцкая гряда может быть продолжаться в конечно-моренном ландшафте, который пересекает Северную Двину, а затем тянется к Мезенской губе и на полуостров Канин.

Смоленско-московская гряда, наоборот, посылает в б. Вологодской губернии ответвление к северо-западу, которое ясно сходится с предыдущей грядой, тогда как другая часть должна найти свое продолжение в Северных Увалах, довольно размытой гряде, которая прослеживается на водоразделе между Волгой и Северной Двиной — по направлению к Северному Уралу. Но это утверждение нельзя делать с полной уверенностью; Северные Увалы могут относиться и к более ранней ледниковой эпохе. Доказательством этого, мне кажется, служат следующие соображения.

На всем севере Русской равнины мы наблюдаем два горизонта морен, разделенные друг от друга морскими пластами трансгрессии (двойной) Белого моря. Недавно было высказано предположение, что в частности верхний моренный горизонт (т. е. относящийся к последней ледниковой эпохе) совсем не представляет собою основной морены, а состоит из валунов, которые совершенно неправильно распределяются в слоистых глинах с морскими ископаемыми. В них вероятно можно видеть отложения, которые возникли при содействии плавающих льдов (Eisdrift), т. е. при таких условиях, какие мы еще и сейчас имеем в Баренцовом море. Эти валуны происходят из скопившихся у морского берега ледников северной Скандинавии (Кольский полуостров) и Северного Урала, которые в последний ледниковый период были отделены морем так же, как глетчеры Скандинавии и Шотландии. Только в более древнюю и более мощную ледниковую эпоху эта депрессия была заполнена льдом.

Эта ожившая в новой форме теория дрейфа (Drifttheorie) (теория плавающих льдов), несмотря на некоторые сделанные против нее возражения и, связанные с ней, еще неразрешенные проблемы, все-таки имеет много подкупающего в свою пользу. По специально поставленному нами вопросу, она доказывала бы, что Северные Увалы не являются продолжением границы максимального развития последнего оледенения, но что это краевое положение сходится со всеми остальными к северу, т. е. к ледоразделу на Кольском полуострове. Следовательно здесь находится другая «точка подвеса» ледяных гирлянд последней ледниковой эпохи — противоположный Скагерраку полюс.

Таким образом мы получаем для последней ледниковой эпохи следующую картину, которая в общих чертах поражает нас своей симметрией (фиг. 37).

От ледораздела Скандинавии наступающий лед двигался центростремительно. На востоке и на западе он быстро достиг морских депрессий расширенного Белого моря и Северного моря (древние, известные со времен юры зоны опускания), а добравшись до берега ледники откладывали свои валуны в эти впадины, где они смешивались с валунным материалом, принесенным из районов обособленных ледниковых покровов Великобритании и Северного Урала. К югу и юго-востоку, наоборот, лед продвигался в виде двух больших языков: западноевропейского и восточноевропейского, которые были задержаны только в области древней границы шельфов на Полесском валу. На западе ледяные массы заполнили балтийско-польскую и северо-немецкую впадины, а на востоке — Русскую котловину. После резкого продвижения (Флеминг-московская фаза) последовало отступление назад этапами: на западе — к северу, а на востоке — к северо-западу; это отступление шло, разумеется, быстрее в языках, чем в месте скопления. Так произошло энергичное «натроможение» («Raffung») ледяных гирлянд у Минска, т. е. на пограничной линии Восточной и Западной Европы, которое продолжалось до тех пор, пока не было достигнуто восточное ответвление в алдэйского положения, а следовательно и граница балтийской мульды. Оставшийся при этом лед таял в отдельных языковых бассейнах вплоть до достижения следующего краевого положения, по пути назад — Сальпауссельке в Финляндии. Из этого мы можем заключить, что в лабильном шельфе Западной Европы движение льда и формы рельефа, обусловленные льдом, были разнообразнее, изменчивее, чем на однородной Русской равнине.

В грубых чертах получается закономерная картина, в которой сохраняются до деталей и симметричное расположение и эпирогенический характер подвергшихся оледенению глыб.

Если мы заглянем глубже в прошлое, то данные станут скуднее, но во всяком случае закономерность соотношений остается вполне ясной.

Предпоследнее оледенение охватило гораздо большее пространство; оно оказало влияние на обе пограничные впадины на востоке и на западе (Северное и Белое моря) и оттеснило назад льды частных оледенений Великобритании и Северного Урала. На юго-западе оно достигло до устья Рейна, до средневысотных гор Германии и до Карпат. Таким образом лед наполнил всю старую эпирогеническую впадину северной Германии и только древние районы поднятия — от Брабанта до Богемии — заставили его остановиться. На юго-востоке лед преодолел Полесский вал и затем проник двумя колоссальными языками вдоль Днепра и Дона в южную часть Русской равнины. Но и здесь ясна связь с эпирогенезом: оба языка являются старыми депрессиями, а оба массива южной части Русской равнины — Подольский и Воронежский — остаются свободными от льда.

Предшествовавшее этому еще более раннее оледенение охватило примерно такое же пространство, как и предпоследнее, но его следы повидимому отсутствуют в Восточной Пруссии, Прибалтике и Поль-

ше. Отсюда сделали вывод, что оно по существу являлось приуроченным к Западной Европе, а что каждое новое оледенение каждый раз проникало все далее на восток и таким образом центр оледенения перемещался с запада на восток. Как ни заманчиво с первого взгляда такое воззрение, оно вряд ли может быть принято после того, как последние русские исследования доказали по меньшей мере вероятность наличия морен этого оледенения в центральной части Русской равнины. Было однако доказано, что это древнейшее оледенение заходило гораздо менее далеко, чем следующее, и вряд ли выходило за предел последнего ледникового периода. В этом лежит ясное различие между Востоком и Западом.

Таким образом и здесь четко вырисовывается, как и первоначальное расположение континента, так и его эпирогеническая история, его прогрессирующее расчленение на отдельные элементы, имеющие различный характер, которые оказали влияние на продвижение льда; эти черты как бы проступают через лед и отложенные им осадки. Ледник и обусловленная им нагрузка вызвали более яркое проявление эпирогенического характера отдельных глыб (участков) земной коры, которое выразилось в форме образования гирлянд конечных морен, говорящих о задерживающем или способствующем передвижению льда движении глыб.

Геосинклинали

Эпирогенез

До сих пор мы познакомились с двумя типами форм земной коры, которые в своих типичных проявлениях могут быть точно определены, но между собой могут быть связаны многочисленными переходами. Например между глыбой и лабильным шельфом в сущности имеются все промежуточные стадии. Это не является аргументом против возможности систематики, так как каждая схема, охватывающая явления природы, является вводимой для наглядности абстракцией, которая должна считаться с крайними и переходными случаями.

Может ли быть проведен дальше установленный ряд, в конечном счете представляющий ряд эпирогенической и орогенической подвижности — «мобильности». Прежде всего надо для этого посмотреть, не существует ли других, несколько иначе построенных элементов земной коры. С морфологической точки зрения мы их несомненно найдем в крупных горных цепях, которые пересекают или окаймляют материки в виде относительно узких полос. В Европе к более юному времени относятся Альпы, Карпаты, Балканы; дальнейшие линии представлены Динаридами (запад Балканского полуострова), Аппенинами, Пиренеями.

В Азии — это Кавказ и пояс центральноазиатских горных цепей, который продолжается в гирлянды островов Восточной Азии. В Америке — громадные массивы складчатых гор Анд и Кордильер. На восточном побережье Австралии мы также находим подобные складчатые горы молодого возраста.

Мы обнаруживаем в складчатых горах орогенез, который резко отличается своей интенсивностью от орогенеза шельфов и имеет своим следствием очень высокие поднятия над уровнем моря. При этом надо подчеркнуть, что и в более давние геологические эпохи возникали такие же горные цепи, которые позднее подверглись значительному разрушению, а потому морфологически они выражены не так сильно. Мы уже ранее познакомились с юной палеозойской складчатостью, которой обязаны своим возникновением средневро-



Фиг. 38. Альпийские линии складок Южной Европы и их плутогенез (1—23). По Ниггли из Кобера (Kober: „Bau der Erde“, 1928).

пейские горы (варисцийские и армориканские складки), Урал, Алтай и т. п., а также с более древней каледонской складчатостью в Норвегии и Шотландии. При анализе складчатых гор часто бывает даже целесообразнее исходить из этих древних развалин, чем например из чрезвычайно сложных Альп, потому что обычно эти древние, остовные горы позволяют нам гораздо более глубоко проникнуть взором в их строение.

Следовательно характер орогенеза складчатых гор несомненно совершенно иной, чем у массивов и шельфов. К деталям мы еще вернемся¹. Здесь прежде всего необходимо выяснить вопрос, является ли также и характер эпирогенеза другим, не принадлежали ли горы до своего образования к пространству с иным строением, которое иначе реагировало в эпирогеническом отношении? В действительности это обстоит именно так.

В настоящее время все определения сходятся в том, что горы альпийского типа возникают в особых частях земной коры, которые обозначаются как геосинклинали. Но общепризнанного определения геосинклинали до сих пор еще никем не сделано. Первоначальное определение, гласившее, что это области постоянного и интенсивного погружения, ни в коем случае не является удовлетворяющим. Колоссальная мощность осадочных пород далеко не всегда

¹ Bubnoff. Grundlagen der Deckentheorie in den Alpen. Stuttgart, 1921.

Наблюдается в горах альпийского типа, а кроме того, как мы уже видели, отложения такой мощности имеются иногда и в неустойчивых шельфах, из которых все же не возникает гор альпийского типа. Устойчивая тенденция к погружению тоже не является безусловно достаточным признаком, так как мы знаем и в самих Альпах очень значительные пробелы седиментации, т. е. относительные поднятия¹. Важнее оказывается указание на то, что в районе складчатости часто появляются породы, которые говорят об образовании их на большой глубине. Но эти породы никогда не бывают очень мощными и часто находятся с другими осадочными породами в такой связи, которая кажется стоящей в противоречии² с вышеприведенными законами корреляции фаций. Такие случаи известны нам в силурийских отложениях Норвегии, в девоне и карбоне центральной Европы, в карбоне Урала, в юре и мелу Альп. Отсюда можно сделать заключение, что здесь погружение бывало иногда таким быстрым, что оно не могло компенсироваться седиментацией, а потому глубокое море приходило почти в непосредственное соприкосновение с берегом. Все это обнаруживает особенно важное свойство геосинклиналей — их подвижность или неустойчивость (лабильность). Это обстоятельство получает особое значение, если принять во внимание, что геосинклинали отличаются наряду со своеобразным характером осадкообразования еще подводными извержениями. Здесь появляется замечательный тип пород, отличающийся железистыми и магнезиальными силикатами, а также бедностью кремнекислотой — это основные, так называемые зеленокаменные породы. Они известны, как спилиты в альгонкских отложениях Богемии, как зеленые лавы в силурийских отложениях Норвегии, как подушечные лавы в складчатом силуре каледонид Англии, как диабазовые пласты в силуре, а затем в девоне средней Европы, в девоне и карбоне Урала, как офиолиты в альпийской юре. Они очень часто бывают связаны с кремнистыми, богатыми радиоляриями осадками, которые конечно отлагались не в мелком море. Часто, наряду с ними, появляются интеркрустальные породы одинаковые по химизму, т. е. с малым содержанием кремнекислоты. Таковы, содержащие платину и никель, серпентины, пироксениты и оливиновые породы Урала, которые преимущественно относятся к этой зоне и к периоду времени, предшествовавшему образованию складок.

Таким образом мы можем сказать: большая подвижность, т. е. относительно быстрое спускание, связанное с деятельным вулканизмом и появлением специфического ряда («Sippe») основных зеленокаменных пород, представляет собой несомненно характерную черту истории геосинклиналей до образования складок. Это действительно является основным отличием геосинклинали от лабильного шельфа.

Другим поразительным признаком эпирогенического характера является факт, что циклическое подразделение осадков, иными словами регулярное следование трансгрессий и регрессий, часто отсут-

¹ Ср. особенно Deescke. Die alpine Geosynklinale. „Neues Jahrbuch f. Mineral. usw. Beil. Bd. 33, 1912.

² Так местами в Альпах приходят друг с другом в соприкосновение отложения глубокого моря с прибрежными.

ствуется в геосинклиналях. Мы частью находим здесь совершенно не расчленяемые, очень мощные серии пород, которые обнимают по нескольку геологических систем и указывают на непрерывное погружение; частью встречается довольно беспорядочное чередование прибрежных и глубоководных образований без непрерывной и закономерной связи между ними. Здесь можно согласиться с Арбенцем, что на эти отложения повлияли частые движения¹ орогенического характера. Пространство геосинклинали не является чем-то однородным; оно охватывает многочисленные мелководные зоны среди глубоководных частей. В настоящее время мы имеем много доказательств, что эти мелководные зоны, которые непрерывно образуются, являются зародышами позднейших складок. С подобным явлением образования выпуклостей и бассейнов мы уже встречались при описании эпирогенических процессов, и здесь остается только добавить, что они главным образом связаны с районами геосинклиналей (стр. 32).

Если принять во внимание закономерную связь геосинклиналей со складчатыми горами, то можно их определить как пространства, в высшей степени мобильные, колеблющиеся в своем эпирогеническом развитии между глубоким морем и высокими горами, в чем ясно проявляется их противоположение шельфам.

В биологическом развитии геосинклинали играют, как уже отмечалось выше (стр. 110), повиidимому совсем особую роль. Здесь обычно удается гораздо менее резко провести деление на зоны, чем в шельфах. Кроме того эти зоны обычно трудно бывает отличить, так как часто складкообразованием и метаморфизмом совершенно уничтожены следы органического мира. Но некоторые факты говорят за то, что здесь, в районах разнообразно и быстро изменяющихся внешних условий, могли лежать центры развития морской фауны.

Орогенез

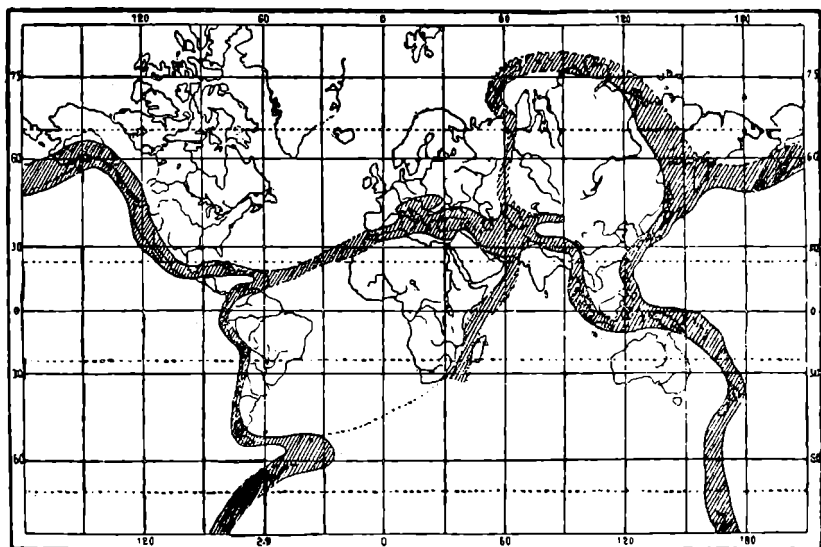
После подготовительной фазы, часто охватывающей несколько геологических периодов, которая отличается вышеприведенным процессом неспокойного эпирогенического развития, в геосинклиналях начинается пароксизм образования складок, который до известной степени уже намечен зародышами складок, зонами поднятий и бассейнами.

Происходящие от этого изменения структуры мы уже рассматривали в главе об орогенезе. В простейшем случае они состоят в образовании тесно сжатых складок, в более же сложном — в глубоком изменении порядка залегания, которое иногда доходит даже до налегания кристаллических пород цоколя на значительно более молодые осадочные породы. Классическим примером таких изменений в залегании являются Альпы. Теперь уже не подлежит ни малейшему сомнению, что здесь имели место колоссальные надвиги (шарьяжи) на протяжении многих десятков километров, которые, как указано на стр. 48, в зависимости от материала, его хрупкости и степени слоистости (мощные пласты или тонкие), выражается

¹ Festschrift Albert Heim, Zürich, 1919.

или надвинутыми складчатыми тектоническими покровами (Ueberfaltung) или глыбовыми тектоническими покровами (Uebershiebung).

Такими движениями были перенесены массы пород, которые залегали примерно на широте Лаго-Маджиоре, к Фирвальшtedскому озеру, а кристаллический фундамент и известковые толщи верхней структурной зоны (Oberbau) Восточных Альп были далеко передвинуты через Западные Альпы. В настоящее время уже не приходится сомневаться в этих основных фактах альпийской теории покровов, тем более, что нам известны совершенно аналогичные факты в каледонских и каменноугольных горах средней и северной Европы. Теперь дискуссия касается уже более местных проблем: размеров



Фиг. 39. Геосинклинали мезозойской эры (заштрихованы). По Дакке из Курса геофизики, 1928. (Dacqué, Lehrbuch d. Geophysik, 1928).

и направления движений⁶, единства во времени и пространстве этих процессов. При этом главную роль здесь играет вопрос об идентификации фациально различных и о разделении фациально сходных пород, так как часто только на этом основании оказывается возможным решить, какие отложения первоначально залегали рядом, а какие пришли в тесное соприкосновение лишь впоследствии благодаря орогенезу. Какие источники ошибок имеются при рассмотрении явлений с этой точки зрения, выяснено выше. Прежде чем перейти к некоторым частным пунктам, имеющим важное значение для образования складчатых гор, остановимся еще на трех положениях, вытекающих из вышесказанного.

1. Благодаря орогенезу, геосинклиналь сжимается в значительно более тесном пространстве; она выжимается и даже частично перекрывается массами, которые первоначально с ней граничили. Это мы наблюдаем там, где альпийская геосинклиналь перекрывается кристаллическими породами Восточных Альп; это мы видим также и там, где складчатые отложения девона по краю Богемского массива

перекрыты архейскими гнейсами, следовательно в области гораздо более древней складчатости. Следовательно геосинклинали являются податливыми «лабильными» полосами, которые пластичнее реагируют на движения складкообразования, чем жесткие инертные глыбы, которые скорее могут двигаться только как целое.

2. Видимая нами картина касается только поверхности потому, что, как уже было показано раньше, складки и надвинутые покровы не могут бесконечно продолжаться в глубину; внизу картина движения должна быть совершенно иной.



Фиг. 40. Развитие Альп по Р. Штаубу, частично гипотетичное.

Фазы *а* — *с* показывают эмбриональную складчатость, т. е. развитие в геосинклиналях бассейнов и зон поднятий. Изображения *д* — *ф* показывают непосредственное нагромождение осадков бассейнов и образование задутого пакета складок. Из Курса геофизики, 1928.

3. Образование складок не идентично образованию морфологически видимых горных хребтов; оно может иметь место и под поверхностью моря¹. Подъем горной цепи является гораздо более поздним процессом, может быть даже следствием необычайного утолщения коры, которое обуславливает превращение геосинклинали в жесткую глыбу.

Детали альпийского горообразования и специальная проблематика теории покровов не могут подвергнуться здесь исследованию; следует только указать вкратце на две основные проблемы.

Зональное строение складчатых гор

Из всего вышесказанного выясняется, что образование складок на поверхности и в глубине — два разные явления. Под складчатой верхней структурой залегает местами, как в Восточных Альпах, кристаллический цоколь, метаморфизм и складчатость которого во всяком случае древнее, чем складчатость верхней структурной зоны.

¹ Это Хаарман справедливо подчеркивает в своей осцилляционной теории.

Поэтому этот цоколь реагировал на новое складкообразование, как целая твердая масса, которая не складывалась в складки, а только сдвигалась или образовывала надвиги. В этом случае ясно, что между верхней структурной зоной и цоколем должны образоваться плоскости движения, так что верхняя зона как бы отделена от фундамента. Мы знаем подобные примеры из юры и северных Швейцарских Альп (ср. фиг. 13, стр. 48).

В других случаях под верхней структурной зоной залегает, правда, такой же кристаллический цоколь, но здесь оказывается, что кристаллизация и складкообразование имеют одинаковый возраст с движением верхней структуры, а следовательно складчатость представляет другой тип. Движения частиц, имеющие место на глубине при высоком давлении и температуре, которые в конце концов приводят к образованию кристаллических сланцев, в верхнем ярусе представляют собою перемещения масс, которые мало влияют на первоначальную текстуру породы; там тектоника имеет текучий характер, а здесь она выражается в разломах и раздроблении. Можно согласиться с Зандером, который говорит, что кристаллическим сланцам подчинены соответствующие элементы покровных гор. Нам известны такие явления в пеннинской зоне (Валлис) Западных Альп, в Рудных горах и в Норвежских горах.

Так как разрушение покровных гор зашло не одинаково далеко в различных местах, то это налегание друг на друга различных структурных ярусов в горах альпийского типа часто проявляется как залегание рядом. Однако оказывается, что в различных частях земной коры граница ярусов с самого начала лежала на различной высоте. В более жестких областях она залегает глубже, чем в более подвижных геосинклиналях, в которых магма очевидно первоначально поднималась выше, отчего становилось возможным прогревание и верхних горизонтов.

Следствием этого является то обстоятельство, что описанные типы горообразования в Альпах распределяются зонально, причем каждая зона имеет свою особую историю развития. Различаются следующие три зоны.

Гельветская зона образует северный отрезок Западных Альп до массивов Аарского и Монблана на юге. С точки зрения истории развития, эта зона представляет собою собственно шельф, который был смят в складки в карбоне, затем был выровнен и перекрыт следующими осадочными отложениями:

- 1) песчано-глинистый палеоген,
- 2) мощный слоистый мел,
- 3) мощная юра,
- 4) триас с многочисленными пробелами в образовании осадков.

Только после этого крупного цикла седиментации началась складчатость. Она состояла преимущественно в срывании (*Abschering*) осадочных толщ с подстилающего фундамента, смятого древней складчатостью. Сжатые в мощные пакеты лежащих складок, эти осадки залегают в настоящее время к северу от местонахождения их первоначального фундамента. Следовательно здесь более глубокий структурный ярус затвердел уже раньше.

Пеннинская зона примыкает с юга. История ее развития уже со-

всем другая. Каменноугольная складчатость была по меньшей мере слабой. В юрское время началось интенсивное опускание и однообразная седиментация, сопровождаемая многочисленными подводными извержениями основных пород. Сколько времени это продолжалось еще не вполне выяснено. Все чаще раздаются голоса, высказывающиеся за раннее складкообразование; повидимому эти движения можно отнести к мелу. Женни (Jenni) выступил даже с вескими доводами в пользу интенсивной складчатости в юрское время. Тип складчатости говорит за глубокий ярус с далеко заходящим участием довольно пластичных, т. е. подвергшихся внутреннему движению (durchbewegt) кристаллических пород. К этому типу в общем принадлежат все западные Альпы южнее линии Меркантиур — Пельву — Монблан, Аарский массив; этот тип можно проследить от Лигурийского залива до Граубюндена; часть относящихся сюда осадочных толщ надвинута на северную гельветскую зону. В Восточных Альпах можно до некоторой степени отнести к ней массив Тауэрн.

Восточноальпийский тип господствует в полосе, которая в западной части Альп образует только узкую ленту к югу от пеннинской зоны (область итальянских озер), а далее к востоку охватывает Альпы почти во всю ширину. Ее развитие опять иное: на древнем кристаллическом, лишь впоследствии подвергшемся легкому движению, цоколе залегают следующие серии более молодых пород:

- 1) мощный неслоистый триас,
- 2) изменчивые юра и нижний мел,
- 3) часто отсутствующие древнетретичные отложения.

В среднем мелу последовало сильное горообразование. В конце этого периода имели также место гранитные интрузии большого масштаба (Бавено, Дисграция, Адамелло).

Нет никакого сомнения в том, что Восточные Альпы частично были надвинуты на пеннинскую зону; различия в мнениях по этому поводу касаются только размеров и единства этого движения. Далее мы ясно видим, что эта масса была надвинута как целая глыба, без изменения прежнего расположения частей. Движение происходит на высоком уровне; всю массу можно рассматривать, как покровные горы, соответствующий глубинный ярус которых нам не доступен.

В общем, получается следующая картина: альпийская геосинклиналь в сущности представлена только одной средней пеннинской зоной. К югу и к северу от нее залегают шельфы с древним кристаллическим основанием, с древней складчатостью. Южный, восточноальпийский шельф передвинулся через пеннинскую зону; северный, гельветский оказывал сопротивление движению, так что последнее выразилось только срывом (Abschürfung) более молодых осадочных отложений (триас — третичные).

Принципиально важным в этом зональном делении является то, что оно повторяется точно в таких же чертах в древних горах средней Европы, относящихся к каменноугольному периоду. Надо только исторический обзор передвинуть назад на четыре периода. Если принять с некоторыми изменениями толкование Коссмата (Kossmat),

то в каменноугольных горах можно различить следующие четыре зоны¹.

Северная, рейнско-герцинская зона (Южная Англия, Рейнские сланцевые горы, Гарц, среднепольские горы, может быть, восточные Судеты). В историческом развитии наблюдается мощное осадкообразование от силура до нижнего карбона, затем складкообразование до и во время верхнего карбона. Кристаллические пласты не принимают участия в верхней структурной зоне, складчатость выражается тесно сжатыми складками и надвигами: магматические интрузии редки. Во многих отношениях это эквивалент гельветской зоны, тип верхнего структурного яруса, который должен быть отделен от подстилающего фундамента поверхностью срыва.

Саксонско-тюрингенская зона (Бретань, Оденвальд, Тюрингия, Франконский Лес, Рудные горы, Исполиновые горы, западные Судеты). С точки зрения исторического развития мы обнаруживаем седиментацию в кембрии и силуре, первое каледонское горообразование на границе силура и девона, затем снова образование осадочных отложений — от среднего девона до нижнего карбона и второе горообразование перед верхним карбоном. Я называю только важнейшие этапы; более слабые промежуточные стадии складчатости можно здесь не принимать во внимание. Для образования складок характерно одно общее внутреннее движение осадочных и кристаллических пород; гранито-гнейсы повидимому частью впервые внедряются во время образования складок; в западных Судетах это произошло несомненно в более раннюю каледонскую фазу. Картины складок дают почти полную аналогию с пеннинской зоной (Рудные горы, Оденвальд и т. д.). Так как и там первая складчатость древнее, чем на севере (по Женни оно относится к юрскому периоду), то аналогия, собственно, полная. И в средней Европе эта зона имеет характер более глубокого яруса.

Молдавско-дунайская зона (Французское центральное плато, Шварцвальд, внутренняя Богемия). С точки зрения истории развития, здесь распознаются древние гнейсы, которые образовались еще в допалеозойское время. Палеозойские осадочные отложения полны пробелов; там, где они представлены полнее, как в Богемии, они отличаются от условий севера. В нижнем девоне особенно выделяются мощные известняки; это в точности напоминает восточноальпийский триас. Горообразование наступило на границе девона и карбона и выразилось в надвигах, лежащих рядом, зон глыбового типа («en bloc») без образования складок в самой собственно молдавско-дунайской зоне. И позже движения ограничиваются только разломами древних гнейсовых глыб с широким развитием интрузий верхне-каменноугольных гранитов. Аналогия с восточноальпийским типом строения опять полная.

Насколько полным является это зональное деление, здесь не приходится исследовать. В альпийской области к Восточным Альпам примыкают с юга Динариды, которые затем тянутся в виде самостоятельной горной цепи до Западных Балкан. С исторической

¹ Это зональное деление было лишь недавно выяснено потому, что так называемые „каменноугольные Альпы“ представляют собой сейчас лишь ряд обломков.

точки зрения они несомненно связаны с Восточными Альпами, но в противоположность им двигались к югу. В средней Европе тоже к югу от молдавско-дунайской зоны лежала каменноугольная горная впадина (Gebirgstrog), которая однако впоследствии была видоизменена третичной складчатостью, так что мы сейчас очень мало знаем об ее первоначальном виде. Здесь не приходится останавливаться на ее значении.

Мне кажется, что это полное совпадение зонального расчленения истории развития и особенностей горообразования между древними и молодыми горами не может не быть подчеркнуто со всей резкостью. Было бы легко показать, что и более древние горы Норвегии и Шотландии имеют тот же тип строения. И там нам встречается опять центральная «складчатая впадина» (Faltengraben) (геосинклиналь) с глубинной тектоникой, тогда как ее двухстороннее окаймление отвердело уже в древности и принимает участие в образовании складок в качестве целого массива.

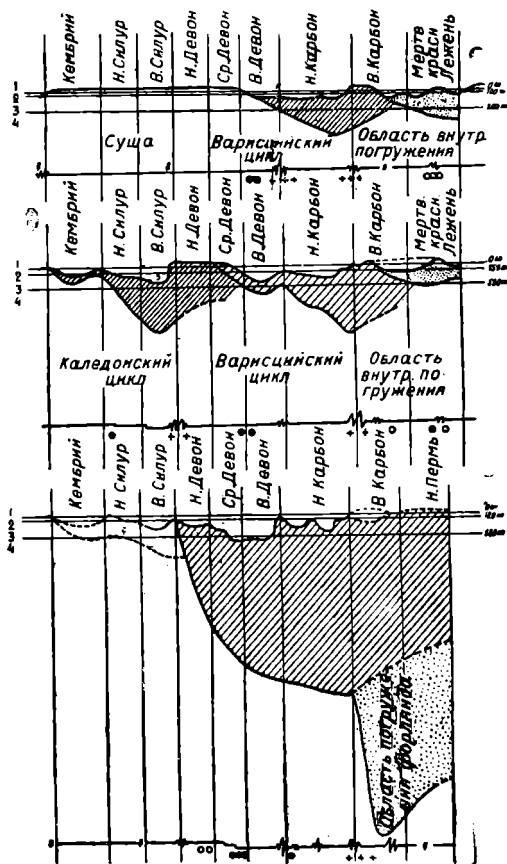
Если мы хотим проникнуть в глубокие причины горообразования, то нельзя пройти мимо этой постоянно повторяющейся закономерности.

Поперечные дизъюнктивные нарушения (Transversalstörungen)

В геологическом описании обычно стремятся расчленить складчатые горы на отдельные дуги. Обычно говорят в средней Европе о западной армориканской и восточной вериссийской дуге. Третичные горы делят на западноальпийскую, восточноальпийскую и карпатскую дуги. Но чем больше углубляться в детали строения, тем яснее становится, что такое деление крайне схематично.

Собственно дугообразное расположение можно четко проследить только в наружных зонах (рейнско-герцинская или гельветская зона). Внутренние зоны имеют гораздо более запутанное строение. Это особенно справедливо для молдавско-дунайских и восточноальпийских гнейсовых ядер, у которых нет более юного расположения дугами; так как они были довольно тверды, то они и не могли расположиться складками в виде дуг, но должны были, под влиянием одностороннего горизонтального движения, образовать разломы. На эти зоны разломов, которые лежат в направлении движения гор, стали обращать внимание только в наше время. В каменноугольных горах средней Европы мы насчитываем их уже несколько; самые важные из них следующие: край долины Рейна вдоль Шварцвальда, юго-западная граница Тюрингенского и Баварского Лесов до Дуная (Пфаль), лаузитцкий надвиг, судетский краевой разлом (см. рис. 42). Сущность этих линий состоит в том, что здесь имели место не вертикальные движения, как при обычных сбросах, а горизонтальные сдвиги прилегающих к ним масс пород. Эти трещины должны проникать очень глубоко, до самого основания гнейсовых глыб, так как по ним часто происходит подъем магмы (лаузитцкий гранит, пассауский гранит, часть шварцвальдских гранитов). Следовательно то, что проявляется в более мягких породах в виде изгиба или дугообразного расположения, будет проявляться в гнейсовом массиве как продвижение уступами с линиями разрыва.

Можно ли для Альп указать подобное положение? Точки опоры для этого имеются налицо. Поперечных разрывов по всему положению вещей надо ожидать в самой южной, восточноальпийской зоне; далее к северу им должны соответствовать дугообразные изгибы.



Фиг. 41. Эпигерогенетические кривые, орогенез и плутогенез в молдавско-дунайской (вверху), саксонско-тюрингенской (середина) и рейнско-герцинской (внизу) зоне Варисийских гор.

Из Бубнова (Bubnoff, Geologie von Europa, II, I, 1930).

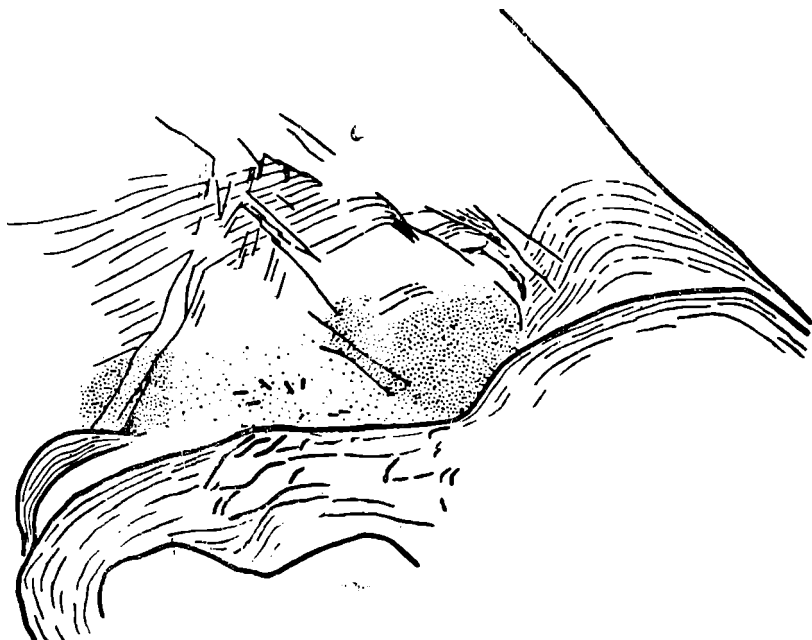
Светлые кружки — кислые изверженные породы; темные кружки — основные изверженные породы; крестики — глубинные породы.

дуге; резкий обрыв Альп в сторону Венгерской равнины, может быть, тоже является в общем расположении поперечным сдвигом, твердый коррелят (Korrelat) «пластической» карпатской дуги, юго-западное крыло которой может быть проделало вращательное движение в Мурских Альпах к северо-западу или произвело надвигание Тауернского массива по Катчбетской линии. В таком случае запад-

Геритч (Heritsh) указывал еще несколько лет тому назад на то, что юдикарийская линия (Judicarienlinie), замечательная линия разрыва, направленная на северо-северо-восток, которую можно проследить от озера Гарда до Бриксена, где она поворачивает на восток, носит характер горизонтального сдвига; по этому сдвигу кристаллические горы на востоке далеко продвинуты на север. Надо заметить, что с ней связан большой юный гранодиоритовый шток Адамелло.

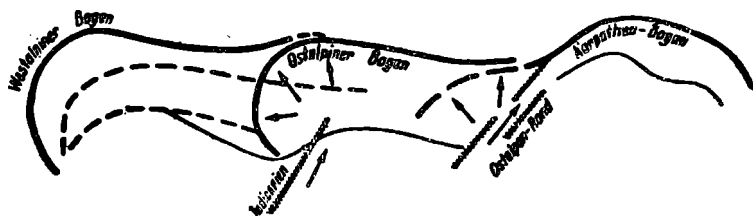
Важно далее то, что граница западных и восточных Альп идет параллельно этой линии. По линии Энгадин—Сильврата—Рэтикон восточноальпийская зона здесь значительно надвинута на пеннинскую. Здесь движение идет не в том направлении, как вообще в Альпах—к северу, а на северо-запад и лишь в Рэтиконе снова поворачивает к северу. Следовательно здесь мы видим восточноальпийскую дугу, которая краем надвинута на пеннинскую зону; в тяжелом «зади древнекристаллическом гнейсовом массиве происходит вместо образования дуги — поперечный сдвиг, т. е. юдикарийская линия. Мне кажется вполне возможным такое же понимание восточного края Альп и перехода к карпатской

ноальпийская, восточноальпийская дуга и Карпаты соответствовали бы ступенчатому продвижению южного кристаллического массива к северу.



Фиг. 42. Древние (каменноугольные) горы средней Европы с линиями простираения и древними молдавско-дунайскими гнейсовыми массивами (пунктир). Обратит внимание на серии направленных с NNO на NW поперечных разрывов, на юге: Юра, Альпы и Карпаты. По Клоосу, 1928.

Это представление, построенное на положениях Геритча и Зандера, стоит в определенном противоречии с западноальпийской тео-



Фиг. 43. Схема черепицеобразного перекрытия альпийских дуг. Стрелки — направление движения.

рией покровов, которая признает единое движение с юга на север и, соответственно этому, перекрывание пеннинской зоны восточноальпийской на всем протяжении вплоть до восточного края Альп. Но как раз это единство движения еще и сейчас является дискуссионным, а ступенчатое черепицеобразное перекрывание зон с запада на восток может быть гораздо лучше согласовано в деталях.

При таком понимании аналогия с каменноугольными Альпами будет совсем полной.

Но с другой стороны, такой подход совершенно не позволяет нам говорить о вполне однородном направлении движения в складчатых горах. Это очень важно для некоторых основных положений альпийской теории покровов. Если направление движения было всюду одно, то мы должны будем всюду в Альпах находить совершенно одинаковую последовательность налегания друг на друга гельветских, пеннинских и восточноальпийских покровов. На восточном краю Восточных Альп под верхним покровом должна была бы лежать толща более глубоких покровов во много тысяч метров мощностью, но это мало вероятно, так как здесь высота гор как раз является наиболее низкой. Допуская, что движение, т. е. перемещение к северу, в разных местах имело различную силу и к тому же местами косвенное направление по отношению к эпиротенически охарактеризованным зонам, мы приходим, во всяком случае, к менее схематической, но механически более понятной картине складкообразования в геосинклинальных областях.

Плутогенез геосинклиналей

В противоположность другим рассмотренным выше элементам земной коры, геосинклинали и образующиеся из них складчатые горы выделяются необыкновенной полнотой и разнообразием вулканических пород, среди которых представлены не только несогласно залегающие или широко распространяющиеся в виде покровов излившиеся, но и типичные интеркрустальные глубинные породы. При этом здесь обнаруживается ясная и вполне исторически установленная последовательность, которая закономерно проявляется во всех геосинклиналях.

Если мы будем исходить из всем хорошо известной по исследованиям Гольдшмидта¹ норвежской геосинклинали, то мы придем к следующему: в эпиротенический подготовительный период, который в районе геосинклиналей выражается преимущественно опусканием, господствуют временами интенсивный поверхностный вулканизм, характеризуемый главным образом излияниями магмы, имеющей по преимуществу основной состав (богатство железом и щелочно-земельными элементами, бедность кремнекислотой). Это ряд (Stamm) зеленых лав Гольдшмидта. В районе британских геосинклиналей они появляются в форме так называемых «подушечных» лав (pillow-lavas), которые отличаются своеобразной подушкообразной формой отдельности. В каменноугольных горах средней Европы и на Урале мы имеем аналогичные образования в девонских и ранне-каменноугольных диабазах. В третичных Альпах ту же роль играют предшествующие складчатости офиолиты (зеленокаменные породы). Эти изверженные породы связаны с туфами и с осадками местами довольно глубокого моря, благодаря чему можно заключить о том, что они застыли под уровнем моря.

¹ Übersicht über die Eruptivgesteine im Kaledonischen Gebirge zwischen Stavanger und Trondhjem, Videnskapsetskriften, Oslo, 1916.

В несколько более поздней фазе, возможно, что в период начала горообразования, вулканизм меняется как с точки зрения химических продуктов, так и с точки зрения формы механического проявления. Магма уже не проникает до поверхности; она затвердевает при более высоких давлениях и температуре, как глубинная порода; при своем подъеме вверх она часто двигается по плоскостям больших сдвигов внутри гор, построенных осадочными породами. Породы часто несут еще отчетливые следы сжатия и трения в застывшем виде, признак того, что горообразование продолжалось дольше, чем проникновение и затвердевание расплавленной массы. В Норвегии относится Гольдшмидтом к этой группе Берген-Иотунский (Bergen-Jotunstamm) ряд пород. Гольдшмидт показал, что эти породы к концу складкообразования не только затвердели, но даже частично подвергались сносу. Получившиеся из продуктов разрушения конгломераты были впоследствии, во время хода горообразования, перекрыты надвинутыми на них со стороны Hinterland'a еще сохранившимися интрузивными породами. С химической стороны эти породы резко отличаются от ряда зеленых лав. Во-первых, они обнаруживают большой размах вариаций, т. е. в них входят и кислые, богатые кремнекислотой разновидности. Далее характерным для них является богатство пироксеном, преобладание известковых полевых шпатов и бедность водою.

В конце горообразования в Норвегии был интродуцирован Трондхемский ряд пород, застывание которых частично продлилось дольше процесса горообразования, вследствие чего эти породы часто не бывают сжаты и ограничивающие их поверхности не всегда совпадают с главными тектоническими линиями. С химической стороны преобладают члены, богатые кремнекислотой; натровый полевой шпат господствует; вместо пироксена появляется слюда; магма была более богата водою. Застывание гранитов обозначает в то же время конец горообразования, превращение подвижных теосинклиналей в стабильную глыбу.

В общих чертах эта схема подходит и для других теосинклиналей: кислые граниты указывают на конец орогенической фазы, ограничивающие их поверхности проявляют часто несогласие по отношению к окружающим слоистым породам, что говорит о том, что их зависимость от горообразующих движений является относительно слабой.

Цикл движений складчатых гор может быть таким образом определен также плутогенезом, причем для этого одинаково следует принимать во внимание как способ проникновения расплавленной массы (механику интрузии), так и изменяющийся химизм.

После складкообразования различные зоны складчатых гор ведут себя совершенно различно с точки зрения вулканической деятельности. В предгорной впадине (Vorsenke), т. е. во внешней зоне по отношению к направлению движения, вулканизма нет. Это мы видим в балтийско-вестфальском угольном поясе, который находится в передовой впадине средней Европы; это же явление наблюдается в полосе третичных отложений, которая проходит из средней Швейцарии через Верхнюю Баварию, венский бассейн и Галицию, опоясывая Альпы и Карпаты, как предгорная впадина.

Магматический цикл геосинклиналией, как уже сказано, отсутствует в других элементах земной коры. Поскольку они оказались защищенными от складкообразования, как это наблюдается в огромном Скандинавском щите и на Русской платформе, они совершенно свободны от вулканических пород. Поскольку они втянуты в складкообразование, как например молдавско-дунайские гнейсы средней Европы, которые принадлежат к внутренней зоне каменноугольных гор, они показывают «неполный» («verkümmert») вулканический цикл, т. е. здесь отсутствуют основные, бедные кремнекислотой породы подготовительной и ранней фазы, и лишь в конце горообразования появляются кислые граниты, которые преимущественно внедряются по границам гнейсовых массивов и собственно геосинклиналией.

Но условия становятся опять иными, как показано выше, в районах шельфов, которые, правда, не подверглись складкообразованию во время орогенической фазы, но были сильно раздроблены. Здесь господствует иногда очень сильный вулканизм, который проникает до поверхности. В химическом отношении этот ряд пород не имеет ничего общего с рядом пород геосинклиналией: он принадлежит к атлантическому типу (щелочные породы или промежуточные типы, как, например базальты).

Мы видим, что определение главных структурных элементов земной коры на основе развития плутогенеза может быть сделано даже, пожалуй, резче, чем на основании чисто тектонических процессов. Особенно характерным критерием является подготовительная фаза с подводными извержениями основных пород. Этот критерий безусловно дает возможность отличить геосинклиналии от прочих элементов — шельфов и глыб.

Океанические бассейны

Здесь необходимо также вкратце остановиться на четвертом, вероятно коренным образом отличающемся элементе земной коры, который по своему протяжению далеко превосходит все остальные. Но о нем и с геологической, и с исторической точки зрения можно сказать немного. Это колоссальные пространства океанов.

Дно современных океанов, разумеется, лишь мало известно. Мы знаем, что глубоководные области отличаются особым, но повидному не особенно мощным осадкообразованием, для которого характерными являются скудость принесенных с суши продуктов, уменьшенное благодаря низкой температуре содержание извести, отсутствие донной фауны: преобладающими являются кремнистые скелеты взвешенных в воде животных. Превалирующая порода представляет собою большую частью плотную, красную, очень однородную, богатую кремнекислотой глину. Значительную роль играют подводные извержения вулканических, по преимуществу бедных кремнекислотой (основных) пород. Рельеф дна, как показали данные немецкой экспедиции «Метеора», во всяком случае в Атлантике является не таким плоским, как думали раньше. В середине дна Атлантического океана тянется продольная выпуклость, которая носит характер подводного горного хребта. Повидному, вполне возможно (как показывают последние геофизические данные),

что строение Атлантического и Тихого океанов совсем различно, причем первое во многом приближается по своему типу к геосинклиналям, а второе основным образом отличается от него.

С исторической точки зрения об этой области трудно сказать много: мы только знаем, что отложения глубоких морей из массива и шельфа отсутствуют, а в геосинклиналях они тоже встречаются лишь спорадически. Следовательно область материка никогда не была океаническим дном. Было ли когда-нибудь обратное не известно, но является не совсем вероятным. Гипотеза, предполагающая существование «затонувших мостов суши» в области океанов, основывается на палеогеографических данных о сходстве в строении между лежащими друг против друга побережьями, на данных о прежнем осадкообразовании, материал которого поступал, повидимому, из ныне затопленных морем областей, а также на палеозоологических данных о прежних путях странствования (миграции) сухопутных животных. Целый ряд этих данных, как будет показано в последней главе, может быть истолкован совсем иначе. Краевые полосы, которые раньше лежали высоко, а затем опустились, не противоречат перманентности океанических областей в целом.

Перманентность таким образом по крайней мере для океанов типа Великого во всяком случае является вполне вероятной; тогда они представляют собой противоположность глыбам, т. е. области с тенденцией непрерывного погружения¹.

Относительно орогенических явлений внутри океанических бассейнов почти нечего сказать. Частое проявление вулканических процессов, частые моретрясения и вышеупомянутые резко выделяющиеся горы на дне Атлантического океана позволяют предполагать, что интенсивность тектонических процессов была здесь довольно значительной, а может быть и очень большой, как в особенности показывают быстрые изменения глубины у берегов Японии после последнего землетрясения. Если вопреки этой вероятно интенсивной тектонике дно океана все таки сохраняет на большие протяжения свой плоский рельеф, что сейчас уже находится под вопросом, то этого не следует истолковывать, как слишком большую инертность (жесткость), а скорее наоборот, как определенную лабильность; можно думать, что все возникшие благодаря орогенезу нарушения равновесия могут здесь в податливом материале быть вероятно довольно быстро выравнены. Но сейчас еще наблюдения над этими явлениями слишком скудны для того, чтобы дать законченную картину. Принципиальная противоположность континентальным областям является установленной. По этому поводу остается только сказать, что основательное исследование пространств, занятых океанами, в будущем может быть доставит важнейшие данные для анализа строения земли.

Сводка систематических данных

Наша попытка охарактеризовать элементы земной коры на основании их исторического развития привела нас к выделению следующих единиц:

¹ Cp. Soergel. Die Permanenz der Ozeane und Kontinente. Stuttgart, 1916.

Глыба. Непрерывная, весьма древняя тенденция к поднятию, мощная высококристаллическая глубинная структура, т. е. мощный внешний каменный покров (Sial); верхняя структурная зона в высшей степени тонкая и с пробелами, неметаморфизированная, слегка диагенетически измененная. Молодая тектоника выражается только слабыми разломами.

Стабильный шельф. Колебания между мелким морем и плоской суши; высококристаллическая глубинная структурная зона, но верхняя структурная зона мощностью до 1 000 м: в последней слабый диагенез. Слабая тектоника, выражающаяся в широко распространяющихся валах.

Лабильный шельф. Преобладающая тенденция к погружению; нижняя структурная зона складчатая, метаморфизирована, но не всюду ее породы обращены в гнейсы; верхняя зона мощностью в несколько тысяч метров отличается осадками мелководными. Седиментация компенсирует погружение. Диагенез сильный, но не достигающий до метаморфизма. Тектоника — глыбово-складчатая (по Штале — «германский тип»).

Геосинклиналь. Резкая подвижность. Колебания между глубоким морем и горами. Более древние кристаллические породы нижней или глубинной структурной зоны редко могут быть указаны; вместо них выступают интрузии и излияния основного материала. Верхняя структурная зона бывает иногда мощной, но очень неустойчивой в смысле характера и фаций; погружение часто опережает седиментацию. Диагенез часто достигает до метаморфизма и перекристаллизации. Тектоника очень интенсивна («альпийский» тип складчатости).

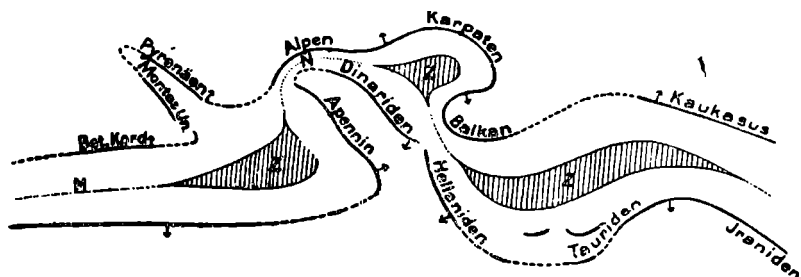
Океанические бассейны. Области преимущественно, и повидимому, перманентно глубокого положения с типичными глубоководными отложениями и поступлением основного «систематического» материала из глубин. О существовании нижней и глубинной структурной зоны ничего прямо сказать нельзя.

Надо указать на то, что также и полезные ископаемые подтверждают такое деление: поскольку они происходят из глубины, т. е. прямо или косвенно магматического происхождения, можно говорить об их связи с определенным типом вулканизма и с более лабильными элементами. Поскольку они происходят от выветривания, для них характерны древние области поднятия и стабильные шельфы. Поскольку они наконец осадочного происхождения, решающую роль играют фации и вместе с тем опять-таки эпигенетический характер данного элемента земной коры. Уголь и нефть например являются типичными признаками лабильных шельфов и предгорных впадин складчатых гор, которые во многом напоминают лабильные шельфы. Уголь является также особенно характерным признаком внутренних участков погружения, т. е. особенно подвижных, в продолжение долгого времени погружающихся полос внутри складчатых гор.

В основе своей от этого расчленения почти не отличается часто применяемое теперь деление Кюбера¹ на орогены и кратогены. Оро-

¹ Der Bau der Erde. Berlin, 1928.

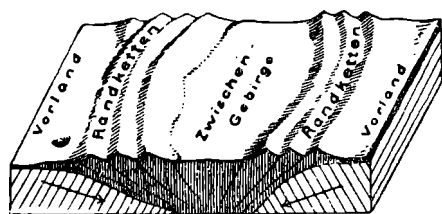
ген есть геосинклиналь и выходящие из нее цепи гор; подвижные орогены вьются, как узкие ленты, между другими стабильными элементами земной коры. Внутри орогенов проводится также деление на зоны, а именно: почти всегда на северный ствол (Nordstamm), т. е. опрокинутый к северу или кнаружи на стабильное междугорье (Zwischengebirge), которое, как в Альпах, может



Фиг. 45. Расчленение альпийского орогена (альпийской геосинклинали) по Коберу.

■ — междугорье; стрелки показывают направление движения.

быть совсем выжато, и на южный ствол (Süd Stamm), т. е.двигающийся тоже кнаружи, но к югу. Легко заметить, что северный ствол соответствует тому, что мы называем рейнско-герцинской и гельветской, а также саксонско-тюрингенской и пеннинской зонами, что междугорье соответствует молдавско-дунайской или восточно-альпийской зоне, тогда как южный ствол следует искать в альпийской системе в Динаридах, в каменноугольных горах — в той еще неизученной, южной зоне, перекрытой надвинувшимися на нее третичными горами. Предполагаемое при этом симметричное строение складчатых гор или орогена



Фиг. 46. Блок-диаграмма деления орогена по Коберу.

впрочем никоим образом еще не является вполне доказанным.

Кратоген собственно обнимает все другие отличающиеся нами элементы, следовательно и океанические бассейны, которые рассматриваются как твердый элемент. По сравнению с этим делением, основанным на чисто орогенических данных, систематика, осно-

ванная на историческом подразделении, является более выдержанной и ведет к лучшему пониманию целого.

Мы уже подчеркивали, что глыбы и шельфы связаны переходными формами и в общем составляют ряд по возрастающей подвижности. Ведь подвижность того или иного элемента является не только выражением ее твердого состояния, но также функцией интенсивности действующих на нее горообразовательных сил. Когда последние достаточно велики, то и твердые области могут получить большую подвижность. Такой случай например мы имеем в предгорных впадинах (Vorsenke) складчатых гор, которые относятся к ста-

бильному шельфу или даже к глыбе, тогда как при горообразовании в соседней с ним геосинклинали они достигают типа лабильного шельфа, что выражается в более мощной седиментации, более сильном орогенезе и накоплении определенных полезных ископаемых, как уголь и нефть.

Геосинклинали и неустойчивые шельфы имеют также переходные члены, к которым например относится Северогерманская равнина и Донецкий бассейн на юге Русской равнины. Но небольшая глубина моря и скудость вулканических проявлений заставляя нас скорее причислить их к неустойчивым шельфам. Только океанические бассейны могли бы, принимая правильность вышеприведенного допущения, представлять принципиально противоположный тип.

С исторической точки зрения возникает вопрос, являются ли четыре вышеприведенных элемента перманентными, т. е. сохраняют ли они во все времена свой характер, или один тип может постепенно перейти в другой. Это вопрос, вызывающий частые и страстные прения, вопрос о перманентности континентов и океанов, который частично, особенно среди американских геологов, получает утвердительный ответ, а частично, в особенности на основании странствования животных форм с одного материка на другой, отрицается¹. Такие миграции животных требуют наличия материков, служивших мостами, а потом затонувших, которые поэтому сейчас должны представлять собою части морских глубин.

Во-первых, надо установить, что вообще о перманентности моря и суши говорить нельзя, так как большая часть поверхности наших материков была по нескольку раз затоплена водою. Но эти затопления обычно носили мелководный характер, и таким образом можно принять, что между глыбой и шельфом могут существовать переходы не только в пространстве, но и во времени. Далее надо принять во внимание, что геосинклиналь благодаря образованию складок обращается в горы, вследствие чего теряет свой подвижной характер; она «консолидируется», т. е. получает характер глыбы. Если затем горы подвергаются разрушению, то их остов может быть снова залит водою мелкого моря. Это хорошо известно в средней Европе, где после разрушения каменноугольных гор, на их месте или на нижней структурной зоне возник неоднородный шельф.

Поэтому мы можем, как в особенности хорошо показал Штилле, наблюдать прогрессирующую консолидацию, а вместе с тем и рост материков (фиг. 27). К старому архейскому ядру первоначальной Европы (пра-Европы) присоединились благодаря складкообразованию в каледонской геосинклинали область Норвегии и Великобритании, которая впоследствии приобрела характер массива, а отчасти шельфа. Так возникла палео-Европа. В конце палеозойской эры была смята в складки и припаяна к ядру континента лежавшая дальше к югу варисийская (каменноугольная) геосинклиналь, затем образовавшаяся неоднородный шельф. Так возникла уже весьма гетерогенная (неоднородная по структуре) мезо-Европа. Затем в те-

¹ На мнение по этому вопросу у Зёргеля уже указывалось (1916). Ср. D a s q u é *Grundlagen und Methoden der Paläogeographie*. Jena, 1915.

чение третичного периода к этому району присоединились гирлянды гор альпийской зоны, и таким образом установились основные очертания нео-Европы. Современное нам Средиземное море является также остатком альпийской геосинклинали — Тетиса мезозойской эры.

В этом нарастании ядер континентов, в протрессирующей консолидации и увеличении материков, которое наблюдается также и в других местах на суше, и состоит несомненно основной закон формирования земли.

Открытым остается еще вопрос: не возможен ли здесь и обратный процесс, т. е. могут ли также части континентов преобразоваться в дно глубокого моря и могут ли возникнуть внутри стабильного массива или шельфа подвижные геосинклинали?

Непосредственных наблюдений, которые могли бы подкрепить такое допущение, нет, а потому и ответ на этот вопрос всецело зависит от теоретических предпосылок, о которых мы скажем вкратце в последнем разделе. В конечном результате ответ зависит от того, считать ли материки неподвижными или принять, что они могут производить скользящие движения по земному ядру. В последнем случае отпадает допущение о континентах-мостах, которые впоследствии погружались в морскую глубину.

Затем можно допустить, что между ними путем выжимания из геосинклиналей образуются новые области континентов, и наоборот, разрыв, отрывание частей континентов одна от другой приводит к возникновению новых геосинклиналей. Если признать континенты совершенно неподвижными, то оба эти допущения немыслимы, а возникновение глубокого моря и геосинклиналей требует тогда дальнейших вспомогательных гипотез, которые уже трудно обосновать.

Прежде чем коснуться этих еще неразрешенных вопросов, подведем здесь итог попытке систематизации.

С помощью исторического исследования могут быть выявлены пять генетически и пространственно связанных друг с другом элементов земной коры. Они постольку перманентны, поскольку их характер и форма остаются постоянными на протяжении всех геологических систем, но они в то же время способны к преобразованию, поскольку рост материков осуществляется благодаря прогрессирующей консолидации. Это понятие о перманентности направления формирования (направленности процесса формирования) совершенно отлично от примитивного понятия перманентности материков и морей; последнее несомненно неверно, так как оно принимает случайную границу между морем и сушей, которая иногда обусловлена чисто местным высотным положением того или иного участка за решающий критерий.

Строение и движение земли в свете геологической методики

Основные геологические представления

Попробуем кратко резюмировать все вышесказанное, так как таким путем можно лучше всего наметить дальнейшие целевые установки и возможности к достижению этих целей.

Я показал в первой части, каким образом актуалистический метод дает нам возможность на основании документов истории земли, т. е. по породам и включениям в них, восстанавливать условия возникновения этих документов, а вместе с тем и ряд прошедших состояний. Далее там было показано, как сравнение первоначального и конечного состояния, опирающееся на логически безукоризненные постулаты, касающиеся залегания, позволяет установить движения в земной коре.

Во второй части мы видели, в какой последовательности по времени и в какой форме должны были иметь место эти состояния и движения.

В третьей части была наконец сделана попытка провести естественную систематизацию и подразделение этих явлений на основе данных истории земли, а именно с помощью обобщения того, что являлось аналогичным в прошлом и имело одинаковую историю.

Можно сказать, что таким путем до некоторой степени указаны непосредственные возможности историко-геологического метода.

Правда, мы еще сейчас далеки от того, чтобы установить для каждого пункта земли его точную историю, но эта цель в конечном счете имела бы лишь количественное, а не качественное значение для обобщения наших знаний о земле. Это дало бы нам только дальнейшие сведения о строении и возникновении оболочки земли, а не всей земли в целом.

Но надо считать по крайней мере вероятным то, что изменения оболочки, которые доступны нам геологически на глубину максимум в несколько километров, являются лишь функцией изменения всей земли в общем, т. е. функциями тела, строение и механика которого не поддается непосредственному наблюдению, а также недоступна изучению по историко-геологическим документам; то, что мы изучаем — это движения, по которым конечно нельзя сделать непосредственного вывода относительно сил, их происхождения и места возникновения.

Здесь историческая геология дает нам только группу констант в формуле строения и образования земли, которая пока еще содержит несколько неизвестных. Другая группа констант дается геофизикой, третья общими физико-химическими положениями, непреложность

которых неоспорима. Однако, несмотря на это, нельзя забывать, что и в настоящее время в этой формуле еще имеется более одного неизвестного, а потому это уравнение может иметь несколько решений. Иначе говоря, наши соображения о внутренности земли и действующих в ней силах основаны на экстраполяции, частью исходящей из свойств коры, а частью опирающейся на астрономические данные; однако допустимость экстраполяции не всегда можно считать свободной от возражений. Кроме того здесь надо еще проводить различие между исследованием и истолкованием наружной земной оболочки и внутреннего строения земли. Оболочка даже с ее наиболее глубокими, недоступными частями так тесно связана с поверхностью, что здесь до известной глубины вполне допустимо экстраполирование геологических данных¹. Здесь историко-геологический метод может по крайней мере, как мы увидим далее, сыграть контролирующую роль в том смысле, что физически конструируемый механизм может быть проверен с точки зрения его исторической вероятности.

С земным ядром дело обстоит иначе: у нас нет данных ни об его теперешнем, ни о первоначальном состоянии. Так как здесь метод исследования может и должен быть не геологическим, а только физико-астрономическим, то мы о нем можем сказать только вскользь. Общий обзор сделать все таки необходимо, так как повидимому в исходные моменты развития, т. е. в первые космические стадии земли вряд ли уже существовало резкое деление на ядро и оболочку, причем эти стадии служили исходной точкой развития земной коры.

Внутренняя часть земли²

То, что мы желаем знать, — это прежде всего физическое состояние материи внутри земли и ее химический состав. Ясно, что здесь все выводы основываются на аналогии и экстраполяции, причем отдельным получаемым константам придется весьма различная степень вероятности.

Температура внутренней части земли никоим образом не может быть установлена точно. Правда, мы знаем скорость ее повышения с глубиной в верхних частях оболочки³, но никоим образом не можем быть уверены в том, что это повышение должно являться постоянным, и на этом основании заключают, что на глубине 50 км температура достигает 1 000°, а что на еще больших глубинах мы будем иметь дело с менее быстрым повышением.

Плотность земли известна лучше, так как на основании астрономических данных можно исчислить среднюю плотность для всей земли в 5,52, тогда как на поверхности непосредственные наблюдения

¹ По крайней мере до глубины, из которой породы впоследствии опять поднимаются на поверхность, т. е. во всяком случае до катазоны; следовательно на 20—25 км.

² По этому вопросу укажем на работу Гутенберга: *Der Aufbau der Erde*. Verl. Gebr. Bornträger, Berlin, 1925, а также на краткое изложение в книге того же автора *Handbuch der Geophysik*, т. III, гл. XIX, которые легли в основу приводимых нами соображений.

³ В среднем 3° на 100 м, но известны отклонения регионального и локального характера.

над соотношениями тяжести дают для плотности величины 2,7—3,1. Отсюда можно сделать вывод, что земное ядро имеет плотность выше средней, которая превосходит удельный вес всех известных нам веществ на поверхности (по Гутенбергу максимум 9—11).

Давление может быть, по крайней мере в известных пределах, установлено довольно точно, если мы знаем плотность; по Гутенбергу оно достигает внутри земли порядка 2,3 млн. ат.

Большое значение имеют «упругие» факторы земли, т. е. твердость (сопротивление изменению формы) и сжимаемость (сопротивление изменению объема); относительно этих факторов мы исключительно хорошо осведомлены, так как нам доставляют точные данные, с одной стороны, явления приливных деформаций в твердом теле земли, а с другой стороны, скорость и распространение упругих волн (при землетрясениях). Эти данные не только дают нам общие величины, но позволяют также вычислить изменения этих величин с глубиной. Здесь мы приходим к чрезвычайно важному выводу, что константы сначала быстро увеличиваются и коэффициент твердости (Righeit) доходит примерно до 30×10^{11} см/г.сек (т. е. приблизительно в четыре раза больше стали), причем это увеличение на глубине 30 — 60 км дает скачок, на глубине 1 200 км претерпевает ускорение, но на глубине 2 000 м происходит скачкообразное и, повидимому, довольно сильное уменьшение твердости.

Эти точные данные позволяют в настоящее время принять, что земля имеет слоистое строение и состоит из следующих оболочек:

Наружный слой земной коры	{	континенты	до	50 км
		Атлантический океан	"	30 "
		Тихий океан ¹	"	0 "
Оболочка (литосфера)			"	1 200 "
Промежуточный слой			"	2 900 "
Земное ядро свыше			"	2 900 "

Причины слоистости могут корениться в изменениях агрегатного состояния вещества и в изменениях самого вещества; и то, и другое вероятно.

На оснований увеличения температуры можно предполагать, что сложные молекулы (прежде всего кремнекислые соединения) присутствуют только в оболочке, и что глубже вниз в промежуточном слое скапливаются простые соединения (окислы и сульфиды металлов), тогда как ядро состоит из диссоциированных атомов металлов. Вертикальное распределение веществ в земной коре не противоречит этому допущению.

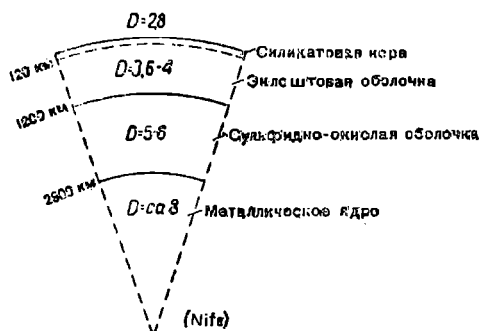
Что касается химического состава, то здесь исходной точкой могут послужить экстраполяция и выводы по аналогии. На основании первой имеется мнение, что тяжелые металлы происходят из больших глубин. Вывод по аналогии указывает, что попадающие на нашу землю космические тела, т. е. метеориты, состоят по преимуществу из железа и никеля. Таким образом заключение, что земное ядро состоит из атомов диссоциированных тяжелых металлов, является вероятным тем более, что это вполне соответствует распределению

¹ Об этом см. ниже.

плотности. Следовательно слоистость обуславливается также и тяжестью.

Наружный слой	Легкие силикаты, преимущественно содержащие алюминий (Sial) (см. стр. 59).
Оболочка	Тяжелые силикаты с магнием и железом (Sima) (стр. 59).
Промежуточный слой . .	Оксиды и сульфиды металлов.
Ядро	Никель и железо (Nife)

Это деление на слои Гольдшмидт истолковывает, как дифференциацию по тяжести, аналогичную процессу, происходящему в доменной печи, при котором последовательно в порядке удельного веса друг над другом выделяются слои легких шлаков (силикатов), «камня» (сульфидов) и тяжелого расплавленного металла.



Фиг. 47. Сектор земного шара с приближенным делением на глубинные зоны. Верхний материковый слой не выделен; согласно Гольдшмидту под изостатической поверхностью выравнивания — на глубине 120 *km* — предполагается оболочка из сильно сжатых силикатов. Эта оболочка, имеющая плотность эклогита, в основном состоит из граната и оливина. Из Борна. (Born, Lehrbuch der Geophysik, 1926).

Такое понимание Гольдшмидта¹ имеет для нас особое значение, как содержащее в себе «исторический» элемент — попытку, современное нам состояние слоистости тела земли вывести из первичной неразделившейся расплавленной массы путем разделения ее на составные части. Гутенберг был прав, говоря, что эта необычайно вероятная теория дает нам некоторые определенные представления о первоначальном состоянии земли.

Возникновение земли путем уплотнения массы сталкивающихся мельчайших космических тел (планетезимальная гипотеза Чемберлена-Мультона) с этой точки зрения является менее вероятной, чем отрыв целого тела от солнца, которое затем постепенно остывало по направлению снаружи внутрь. Следовательно в принципе это старое толкование Канта-Лапласа еще и сейчас нам представляется наиболее вероятным.

Строение оболочки

Тогда как строение земного ядра может быть выведено только на основании физических и астрономических данных, представление об оболочке должно быть согласовано с геологическими данными и особенно с вышеприведенной исторически обоснованной систематикой. В результате рассмотрения земной оболочки с целью систематизации мы можем различать на поверхности участки с различной подвижностью (мобильностью) и различной тенденцией движения. Это значит, что наружная часть земной коры не представляет собою одно-

¹ Der Stoffwechsel der Erde. „Naturwissenschaften“, 1922.

родной охватывающей всю землю оболочки, но является мозаикой отдельных глыб. Это эмпирическое положение может быть физически развито дальше двумя методами.

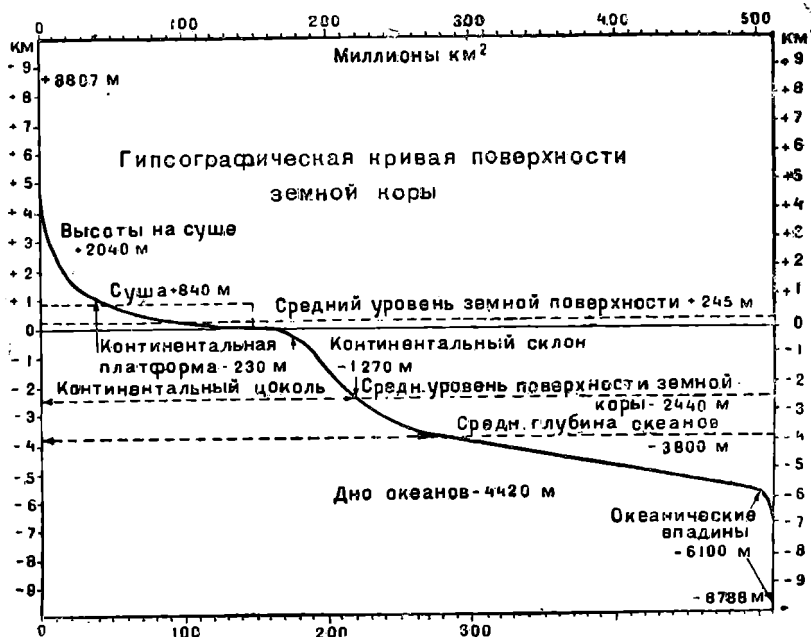
Исследование плотности (тяжести). Измерения тяжести на поверхности показывают, что земная кора в отношении тяжести сильно выравнена. Это совсем не является само собою разумеющимся, как кажется, так как оказывается, что цилиндр породы, вырезанный из возвышенности или горного хребта, имеет тот же вес, что и цилиндр такого же диаметра, но короче на несколько километров, который мы вырезали бы из морского дна. Одним словом, недостаток объема в океане компенсируется избытком плотности. И действительно, средняя плотность континентов равна 2,7—2,8, а океанов — 2,8—3,1. На основе этих данных была построена теория изостатического выравнивания, которая исходит из различным образом обоснованного представления, что имеющая более легкий удельный вес внешняя кора плавает на более тяжелом внутреннем слое. Наружная оболочка состоит из осадочных пород и из богатых алюминием кислых глубинных пород с меньшим удельным весом, т. е. практически соответствующих понятию Sial; тяжелая оболочка состоит из богатых железом основных глубинных пород (Sima). Выравнивание должно происходить таким образом, что выступающие выше части поверхностной земной коры соответственно также глубже уходят в тяжелую оболочку, подобно плавающим в воде льдинам. Это «плавание» требует конечно известной «текучести» тяжелой оболочки, т. е. способности реагировать на напряжения течением, что собственно не противоречит нашему представлению о глубинных частях земли, если это «течение» понимать как медленную реакцию на длительно существующие импульсы (вековая пластичность).

Теория изостатического равновесия в настоящее время имеет право на всеобщее признание. Ее толкование в связи с геологической систематикой возможно в двух направлениях: а) или глыбы (участки земной коры) отличаются друг от друга различной мощностью сиалического цоколя, б) или у океанических участков вообще отсутствует сиалический цоколь.

Вегенер давно уже указывал, что распределение высот на земле говорит в пользу последнего допущения. При первом допущении на земной поверхности чаще всего должен был бы встречаться средний уровень (кривая вероятности) (Zufallskurve). Вместо этого статистические подсчеты дают двойную кривую с двумя максимумами, указывающими, что чаще всего встречаются высоты около 100 м над уровнем моря и около 5 000 м ниже уровня моря. Следовательно мы имеем на земле континентальный и океанический уровень, что несомненно подтверждает второе допущение, т. е. говорит за принципиальную разницу (фиг. 48).

Скорость распространения упругих волн. Это второе толкование нашло недавно поразительное подтверждение в исследованиях Гутенберга. Продольные волны, имеющие в континентах скорость в 5,4—6,0 км/сек, которая на глубине 40—50 км сразу повышается до 8 км/сек, под Тихим океаном обнаруживают поверхностную скорость в 7 км/сек без резкого увеличения на глубине. Это ясно указывает, что под континентами залегает поверхность неустойчивости, причины

которой могут корениться во внезапных изменениях материала или агрегатного состояния, которые отсутствуют под Тихом океаном. Следовательно вывод, что более легкий слой земной коры, составляющий материк, отсутствует под океаном — более чем вероятен. Поразительно то, что эта поверхность неустойчивости под Атлантическим океаном не только имеется, но еще лежит на вдвое меньшей, чем под континентами, глубине.



Фиг. 48. Гипсографическая кривая земной коры, с точки зрения частоты (поверхностного распространения) отдельных величин (высот). Два участка пологого положения линии указывают на наличие среднего континентального и среднего океанического уровня, между которыми находится резкий континентальный склон. Из курса геофизики, 1926.

Эти данные довольно легко согласовать с геолого-исторической систематикой: принципиальная противоположность континента и океана зависит от присутствия или отсутствия сиалической оболочки. Различия в пределах континентальных структурных элементов (глыба, шельф) очень легко могут быть связаны функционально с мощностью сиалического слоя. Этим также удовлетворительно объясняется перманентность основных типов.

Во что же выливается в свете такого понимания вопрос о переходе одной основной формы в другую?

Океан такого типа как Тихий вряд ли сможет обратиться в материк; трудно представить себе и обратный процесс. Доказательства в пользу противоположной точки зрения, которые пытались приводить на основании палеогеографических данных (о существовании древнего Тихоокеанского материка), мало убедительны, так же как и

предположение о погружившемся материке-мосте в Индийском океане; зоогеографические аргументы допускают также и иное истолкование.

Напротив, между глыбой и шельфом (Block, Schelf) имеются все пространственные переходы; возможно мыслить эти переходы и во времени. Следует только помнить, что с орографической точки зрения высоко лежащая местность является в то же время районом эрозии, т. е. подвергается постоянному уменьшению поверхностной легкой сиалической толщи. Признавая изостатическое равновесие, мы должны допустить, что это уменьшение массы должно компенсироваться всплыванием; в этом заключается возможность объяснения тенденции глыб к поднятиям. С другой стороны, эта комбинация подъема и разрушения является равнозначной уменьшению мощности сиалического пласта, т. е. практически равноценна приближению к условиям шельфа. В конечном счете различия должны быть выравнены и первоначальные условия глыбы и шельфа могут поменяться местами.

В этом соотношении невыясненной остается еще только роль геосинклиналей. Из сказанного ясно, что смятые в складки, выжатые гессинклинали, которые морфологически соответствуют высоким горам, должны давать по теории выравнивания веса особенно интенсивное утолщение легкой сиалической коры. Это согласуется и с физическими (измерения тяжести) и с петрографическими (богатство кистыми глубинными породами) данными.

Мы знаем также и из анализа исторического материала, что прогрессирующий снос опять «отпиффовывает» эти зоны утолщения, пока они не станут шельфами¹.

Гораздо запутаннее оказывается вопрос о состоянии геосинклинали до складкообразования, особенно потому, что в настоящее время мы не знаем бесспорных геосинклиналей, или потому, что там, где их можно предполагать, лежит глубокое, недоступное исследованию морское дно.

Историческое рассмотрение учит нас, что геосинклиналь до образования складок была очень подвижным пространством с преобладающей тенденцией к погружению. Эта характерная чертаближает ее с неустойчивыми шельфами. Второй важной чертой являлось большое количество подводных извержений преимущественно основных, т. е. имеющих большой удельный вес, пород; в этом заключается аналогия с бассейнами океанов. Следовательно возможность, что геосинклинали являются слабыми местами земной коры, т. е. местами, характеризующимися уменьшением или быть может отсутствием сиалического пласта, тем самым подтверждается.

Гессинклинали в таком случае имеют вид борозд, которые проникают до основания наружного каменного покрова. Их неустойчивость, их особые условия образования отложений, их вулканизм — все находит в этом свое объяснение. Последующее горообразование тогда может заключаться в сжатии двумя континентальными массивами подобных «слабых мест» земной коры. Но об этом речь впереди; сейчас нас прежде всего интересует вопрос: может ли геосинклиналь

¹ Как это например было с „каменноугольными Альпами“ — современными среднегерманскими горами.

возникнуть заново или она является заложенной издревле, как Тихий океан?

Ответ на этот вопрос носит, разумеется, и сейчас еще очень гипотетический характер. Поэтому в следующих, уже развивавшихся мною в свое время мыслях¹, мне хотелось бы отметить, что отчетливое углубление каледонской геосинклинали в связи с вулканическими извержениями началось в силуре, а его завершение горообразованием имело место на границе между силуром и девоном.

В перпендикулярно проходящем к ней Урале началось углубление в девоне, а замыкание — на границе корбона и перми. Подобным же образом можно показать, что и остальные складчатые среднеевропейские горы, простирающиеся перпендикулярно Уралу, подвергались главной складчатости не одновременно с Уралом, а раньше его. Это было бы совершенно понятно с точки зрения механизма явления складкообразования, и сдвигание участков земной коры навстречу друг другу обозначает сокращение в направлении движения, а растяжение в направлении к нему перпендикулярном. Разрыв и образование глубоких трещин становятся понятными, если признать движение континентальных глыб: по направлению этого движения господствует сжатие и нагромождение масс, а перпендикулярно к нему — разрывы.

Если мы таким образом допустим, как это сделал впервые Вегенер², вероятно в слишком преувеличенном масштабе, в известных границах горизонтальное движение (Drift) континентальных глыб, то тогда раскрытие и смыкание геосинклиналей оказываются только следствием тенденции к сокращению или растяжению, которые должны возникнуть при таком перемещении.

Против этих положений недавно выступил с возражениями Краус³, но к сожалению он не дал других обоснований, кроме заявления, что случай с Уралом еще ничего не доказывает. Я хочу добавить, что относительно мало исследованный Урал быть может еще даст новые материалы, но мне кажется, что гораздо лучше известные нам каледонские горы показывают то же самое. По обе стороны от них залегают докембрийские глубинные структуры, которые внутри современных гор уходят на неизвестную глубину. Нет никаких указаний на то, чтобы до кембрийского периода или даже до силура существовала эта впадина, так как прежняя непрерывность очевидно не нарушена по обе стороны. Наконец начинается резкое опускание с колоссальным подъемом расплавленных масс из глубины. Как же был бы возможен этот подъем, этот принос снизу расплавленной массы без ослабления и растяжения? Краус допускает здесь ошибку в том, что исходит преимущественно из примера Альп и прежде всего именно из ближе всего знакомой ему внешней зоны, которая собственно лежит уже вне геосинклинали. Но то, что в собственно альпийской геосинклинали может быть указано как противоречащие факты, все таки пока еще может быть различно истолковано, так как историческое воссоздание картины прошлого еще пока хромает.

¹ „Scientia“. Mailand, 1927, Н. 3.

² См. следующую главу.

³ Die Zyklustheorie. „Geol. Rundschau“, 1928.

Эта теоретическая попытка, гипотетический характер которой я сам вполне сознаю, все же приводит нас к пониманию геосинклинали; она в противоположность шельфу отличается чрезвычайной подвижностью, быстрым погружением и вулканической деятельностью. Причину этого можно видеть в том, что под ней нет сколько-нибудь значительного древнего складчатого и метаморфизированного фундамента глубинной или нижней структурной зоны, в том, что она возможно достигает почти основания континентального цоколя.

Различие геосинклинали с шельфом выражается следовательно не только в том, что из геосинклинали возникают сильно сжатые складчатые горы альпийского типа, но прежде всего в том, что их фундамент и предшествующее развитие совершенно иные. Конечно и здесь является возможным и вероятным наличие промежуточных элементов. Так например в богемском силуре многочисленные вулканические породы (диабаз) являются признаком того, что здесь порою господствовал почти геосинклинальный режим. Так в Донецком бассейне внезапно и быстро в верхнем девоне начинается образование впадины и приводит к исполтинскому погружению, которое должно компенсироваться отложением до 10 км осадочных пород (каменноугольных и пермских). Вулканические же породы, наоборот, скудны, осадочные отложения в них и складчатость напоминают скорее неустойчивые шельфы. Это пограничные случаи, которые также понятны, если принять вышеприведенное объяснение.

Следовательно в принципе можно сказать: геосинклиналь по своему строению близко подходит ко дну океана; по своей истории она дает картину, сходную с историей лабильных шельфов: она возникает благодаря растяжению и исчезает благодаря сокращению, что отличает ее от перманентных океанов. Может быть мы имеем право усмотреть в Атлантическом океане с его истонченным сиалическим слоем и поразительной расчлененностью морского дна, которая была констатирована экспедицией «Метеора», именно подобный неустойчивый элемент.

Здесь надо еще вкратце коснуться во всяком случае совершенно гипотетического вопроса о первоначальном исходном состоянии земли до этого расчленения. Если мы, как уже сказано в предыдущем отделе, допустим в качестве исходного состояния дифференциацию вещества земли во время ее жидкорасплавленного состояния по принципу тяжести и последующее прогрессирующее по направлению внутрь охлаждение ее, то нам придется сравнить сиалическую кору континентов с наружным слоем шлака. Он конечно не сохранился в его первоначальном состоянии, но много раз мог быть переплавлен и изменен. Такая реконструкция первоначального состояния является вполне вероятной. Труднее ответить на вопрос, почему этот наружный «слой шлака» не является непрерывным, а наоборот перекрывает даже меньшую часть земли. Здесь мыслимы две возможности.

1. Слой шлака с самого начала был прерывистым. В таком случае древние архейские массивы представляют собой древние ядра, которые были частью сдвинуты между собой, а частью благодаря присоединению к ним горных пепей, выросли до размеров континентов. Но при этом толковании трудно объяснить удовлетвори-

тельно неравномерность этого первоначального распределения и скопление континентов в одном полушарии земли.

2. Слой шлака первоначально был однородным и лишь впоследствии был разорван. Так как трудно предположить, чтобы покров Тихого океана был впоследствии передвинут к Азии или Америке, то такая концепция может в сущности получить вероятность только при условии комбинирования ее с теорией отделения луны. С этой теорией, которая уже не раз выдвигалась, выступил опять недавно Гутенберг¹, который считается с возможностью, что в Тихом океане лежит «рубец от отделения луны». Во всяком случае этот процесс лежит далеко за пределами исторически освещенной эпохи («То, что мы определяем как историю земной коры, является ее историей только после отделения луны» — Гутенберг). Таким образом это событие выходит за пределы историко-геологического рассмотрения, которое должно считаться с расчлененностью земной коры, как уже данным первичным положением.

Во всяком случае необходимо признать, что это первичное расчленение обладало во многом совсем другими чертами, так что ядра континентов несомненно выросли. Современным слическим фундаментом континентов является гнейсовый цоколь, который обязан своей структурой и текстурой позднейшим повторным движениям. Его «повсеместность», т. е. распространение по всей земле, является благодаря вышеприведенным аргументам маловероятным, потому что его первичным материалом был именно тот шлаковый слой, который не был непрерывным. Но преобразование этого материала представляет собою процесс, в известных границах доступный наблюдению, в особенности в областях глыб, которые подвергались эрозии на глубину, измеряемую километрами. То, что образование континентов имеет причинную связь с обращением их цоколей в гнейс, высказывалось уже раньше. В этой области мы находим важные побудительные моменты для толкования механики земных движений.

Механизм горообразования

Физико-механическое толкование поробразующих процессов имело издавна влияние на геологическое исследование, а порою даже над ним господствовало; во многих отношениях об этом приходится пожалеть, так как сейчас мы имеем ряд теорий, ни одна из которых не может похвалиться полным соответствием с накопленными и все еще накапливающимися фактами.

Причины этого надо искать в том, что теоретические обоснования создавались в то время, когда, во-первых полученные данные еще не могли дать право на какой-либо синтез, а во-вторых, что двойному базису (геологическому и физическому), который требуется для такого синтеза, было уделено слишком мало внимания. Внесенное таким образом в науку спекулятивное течение часто мешало исследовательской работе и суживало кругозор.

Поэтому необходимо подчеркнуть, что геолого-исторические и геофизические методы не могут односторонне заменить друг друга, а

¹ Hand buchder Geophysik. Bd. III, 1930.

должны лишь один другой дополнять. Геологическое исследование может в конце концов дать только возможно более полную картину течения процесса путем сравнения начального и конечного состояний; оно дает картину движения, но не дает механической формулы действующих сил. Именно смещение движения и силы, подстановка понятия направления давления там, где мы имеем дело только с направлением движения, вносит много путаницы, так как движение является только результирующей различных силовых импульсов, которые могут дать самые разнообразные комбинации. С другой стороны, нельзя не признать, что физика, которой при толковании историко-геологического «эксперимента» должен принадлежать решающий голос, тем не менее не имеет права подвергать сомнению или оспаривать картину движения, выведенную геологически совершенно правильно, на том основании, что последняя якобы противоречит экспериментальным данным. Как раз развитие геофизики дает примеры того, что определенные указания о формах движения, которые сначала на основании подсчетов казались совершенно невозможными, впоследствии оказались имеющими право на существование. Геофизик должен непременно настолько владеть основными логическими положениями геологии, чтобы он мог правильно понимать разграничение и комбинацию обоих методов.

Настоящее специфически геологическое исследование не имеет целью дать критический обзор большого количества теорий горообразования. Для детального их изучения можно указать на более раннюю сводку Нёлке (Nölke)¹ и на вполне объективную новейшую сводку Гутенберга². Уже беглый обзор показывает, что мы здесь стоим на зыбкой почве. Все расчеты оказываются пригодными только при известных допущениях, т. е. являются уравниваниями с несколькими неизвестными; для многих механических постулатов можно в лучшем случае обосновать возможность или невозможность, но никак не количественное значение.

Но тем не менее сейчас из этой груды противоречивых, частью диаметрально противоположных взглядов выкристаллизовывается альтернатива, при которой все за и против могут быть хоть отчасти включены в геологическое понимание. Прежде чем мы будем говорить об этом, надо еще остановиться на частичном решении, которое порою имеет важное значение.

Вертикальные движения земной коры — поднятия и опускания — могут, как уже указывалось вскользь, зависеть от изостатического (гидростатического) равновесия плавающей на земном ядре земной оболочки: разгрузка (эрозия) должна вести к поднятию, нагрузка (седиментация) — к погружению. Например продолжающийся до наших дней подъем Скандинавии может стоять в связи со стаиванием ледниковой шалки эпохи оледенения, имевшей свыше 1 000 м мощности. Глубокое положение (в рельефе) некоторых угольных бассейнов (Саарбрюкен, Нижняя Силезия), в которых наблюдаются накопления осадочных пород мощностью во много тысяч метров, рассмат-

¹ Geotektonische Hypothesen. Berlin, 1924.

² Handbuch der Geophysik. Abschnitt IV, Bd. III. Berlin, 1930.

ривается именно как следствие такой нагрузки осадками¹. Вряд ли теперь еще можно подвергать сомнению возможность этого процесса; количественно и качественно он дает только частичное решение. Количественно потому, что математические вычисления показали во многих случаях, что механизм нагрузки объясняет только часть общей суммы наблюдаемых вертикальных смещений; качественно потому, что он не может дать объяснения горизонтальным движениям и потому, что этот процесс в конце концов должен замереть, требуя какого-то другого импульса для своего осуществления.

Но помимо подобных частичных решений, здесь открываются возможности для двух основных воззрений.

1. Земная кора неподвижна; в частности континентальные сиалические глыбы никогда не меняли своего географического положения в отношении широты и долготы. Арган (Argand) определяет это основное воззрение как «фиксизм».

2. Оболочка может скользить по ядру, так что глыбы двигаются не только вертикально (изостазия), но и горизонтально. Этот «мобилистический» (Арган) взгляд был впервые развит Вегенером² в его теории перемещения континентов (Kontinentaldrift-Theorie). Однако лучше применять вместе с Залоном нейтральное выражение «эпейрофорез» (Epeirophorese)³.

При обсуждении этой альтернативы надо также делать строгое различие между геологическим и физическим толкованием.

Первичным должно быть выяснение картины движения, даваемое геологией; до тех пор пока ее не удастся установить в бесспорной форме, от физика нельзя ждать причинного объяснения; он в лучшем случае может только дать оценку с точки зрения вероятности.

Непосредственное наблюдение над перемещением континентов до сих пор вполне безукоризненно произвести не удавалось, потому что при медленности движения и краткости промежутка времени измерений границы возможных ошибок еще не переступлены. Поэтому ход доказательств может быть только историко-геологическим, и прежде всего на основании четырех видов документов.

Структурные. Указание аналогичного строения, и аналогичное образование двух лежащих друг против друга берегов, например западных берегов Европы и Африки и Восточного побережья Америки. Данные до сих пор могут быть истолкованы различно. Поскольку речь идет об аналогичных структурах, здесь всегда можно возразить, что те же структуры могут встретиться в погружившейся под уровень океана, т. е. недоступной нам, промежуточной части (в Атлантическом океане). Наоборот, структурные различия не могут служить достойным внимания доказательством против движения континентов, так как структуры часто сменяются на небольших протяжениях. Я уже раз указывал, что например Вогезы и Шварц-

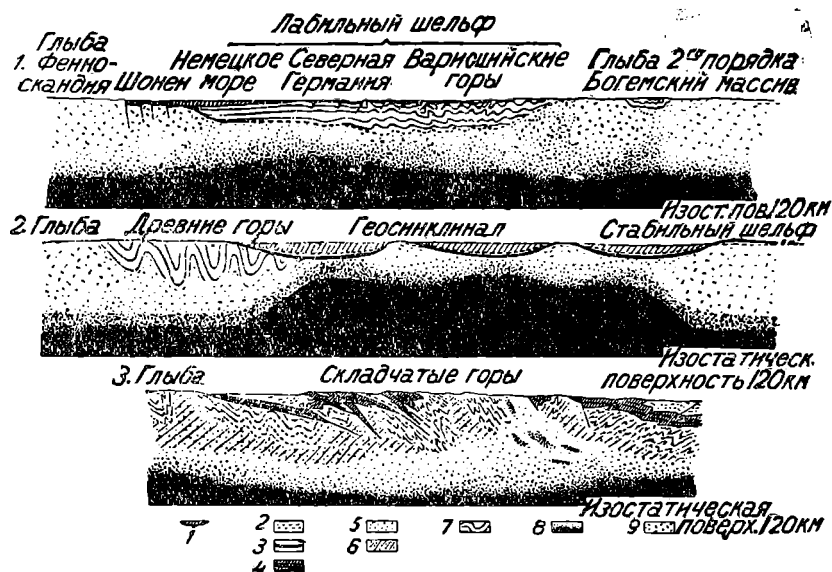
¹ Born. Über jungpaläozoische, kontinentale Geosynklinalen. Abhandl. Senkenbergische naturforsch. Gesellschaft. Frankfurt a/Main, 1921.

² Wegener. Die Entstehung der Kontinente und Ozeane. Braunschweig, 4 Auflage.

³ Salomon-Calvi. Epeirophorese. Протокол заседания Гейдельбергской академии наук, 1930. Эта работа содержит также хороший критический обзор других теорий.

валы на обращенных друг к другу краях настолько различны, что после раздвигания их вряд ли можно было бы сделать предположение об их первоначальной связи между собой.

Палеогеографические. Указания на прежнюю связь участков суши или на прежние разделяющие их моря, особенно на основании миграций животных и растений. Ясно, что взгляд, основанный на «фиксизме», должен объяснить такие указания поднятиями и погружениями «континентов-мостов», которые частью содержат в себе внутреннюю



Фиг. 49. Глубинные профили, проведенные через всю земную кору для различных структурных элементов земной коры.

1—глыба и шельф; 2—глыба и геосинклиналь; 3—геосинклиналь после складчатости. По Бубнову, 1923.

1 — море. 2—4—юные осадочные образования. 5—7—палеозойские отложения. 8—переходная зона и субстрат из основных пород. 9—гнейсовый докоп.

невероятность. Раздвигание континентальных глыб, которые первоначально были спаяны вместе, дает гораздо более свободное от натяжек объяснение этому процессу разединения суши; но из сказанного во всяком случае не следует ничего более, чем вероятность подобного явления.

Палеоклиматические. Так как перемещение континентов обозначает их передвижение по отношению к полюсу и экватору, то оно непременно должно выразиться в изменении климата. Такие изменения несомненно имели место, но реконструкция прежних климатических поясов как основа для доказательств в пользу движения возможна не раньше, чем начиная с каменноугольного периода, да и то она не может быть вполне свободной от возражений потому, что за исключением следов оледенения все остальные документы как указания на климат (уголь, пустыня) могут быть истолкованы различно.

Здесь может быть кроме того выдвинуто общее возражение, что перемещение климатических поясов может быть также обязано перемещению полюсов, т. е. оси вращения земли. В то время как раньше

Эта возможность обсаривалась, сейчас с ней считаются. Но все таки в области вопросов климата остается ряд фактов, которые ничем не могут быть объяснены кроме перемещения континентов. Сюда надо отнести распространение пермского оледенения, следы которого нам известны в Южной Африке, Северной Индии и еще в нескольких других местах. Эти места частью отстоят друг от друга на 90° , так что если одно находилось возле полюса, то другое приходится вблизи экватора, т. е. в районе, где оледенение невозможно. Это один из фактов, не объяснимый с точки зрения «фиксизма» (стр. 13). Не может он также быть истолкован передвижением полюсов, т. е. обычным перемещением климатических поясов; раздвигание же континентов дает простое решение вопроса. Более чем где-либо здесь документы говорят в пользу эпифореза.

Доказательства, вытекающие из анализа движения. Эта группа доказательств конечно уже не является чисто геологической, но тесно связана с геофизическими аргументами. Мы слегка коснемся последних и попытаемся сделать чисто геологические выводы относительно картины движения. Это конечно возможно только условно, как мы сейчас увидим.

Если мы будем исходить из основного положения, что континенты находятся в покое, то тогда объяснение горообразования возможно только с помощью теории сжатия, которая господствовала в геологии на протяжении десятков лет, и сторонниками которой является и сейчас много, если не в большинстве, геологов. Особенно ясно вылилось в Альпах, что если отказаться от этого основного положения, то логически необходимо прийти к заключению о перемещении континентальных глыб, так как этот вывод вытекает непосредственно из теории «глубинных течений и поглощения» (Unterstömungs und Verschluckungstheorien), которые пришли на смену теории сжатия. Этот путь отклонения от контракционной теории, а вместе с тем и от представления о находящихся в покое континентах был в последние годы отвергнут швейцарскими геологами¹.

Теория сжатия исходит из допущения непрерывной отдачи землею

¹ Некоторые другие гипотезы, как например теория термического расширения М. Риде (M. Reade), кристаллокинез Лакмана (Lachmann), теория скольжения Рейера (Reyer) в наше время почти уже не стоят обсуждения. Краткую их критику можно найти у Бубнова (Bubnoff. Grundlagen der Deckentheorie in den Alpen. Stuttgart, 1921), где отчасти основываясь на более старых работах Амфепера (Jahrbuch österr. Geol. Landesanstalt, 1906) указана необходимость новой основной теории для объяснения строения Альп. Этот прогноз оправдался, как показывают работы Аргана (Argand. Tectonique de l'Asie. Intern. Kongress Brüssel, 1922, und R. Staub. Bau der Alpen. Beitr. zur Geol. Karte der Schweiz.

В последнее время даже маститый ученый А.-Гейм (A. Heim) стал на точку зрения перемещения континентов.

Теория скольжения Рейера снова ожила в несколько видоизмененной форме в осадочной теории Хаармана (Stuttgart, 1930). Подобный же взгляд присущ и американскому исследователю Дэли (Daly), на что указал Заломон (см. выше). По этой теории горизонтальные движения должны объясняться скольжением в впадины геосинклиналей, а также и связанным с этим взаимным сдавливанием. О пригодности этого воззрения для объяснения альпийской картины движения не приходится говорить уже потому, что альпийская тектоника является по преимуществу не гравитационным движением в глубину, а направленным против силы тяготения выжиманием осадков геосинклинали через ее край.

теплоты мировому пространству, с которой связано сокращение остывающей наружной оболочки. Этот процесс охватывает теперь уже не охладившуюся внешнюю поверхность, а более глубокие части коры. Благодаря этому оболочка становится слишком широкой и складывается в складки.

Нельзя оспаривать, что эта теория логически ясна и стройна и что она имеет преимущество необычайно простой связи с основными физическими фактами. Здесь мы не можем глубже исследовать механические предпосылки; надо только указать на то, что основной постулат — непрерывная потеря тепла — является не установленным, так как отдача тепла в земной коре частично компенсируется радиоактивным распадом; количественно эти факторы еще далеко не оценены по отношению друг к другу.

Более старая теория Дажоли, которая недавно была сильно изменена Холмсом, как раз опирается на признание, что выделяемая в сиалическом слое и подстилающем его базальтовом теплота от радиоактивного распада не только компенсирует отдачу тепла мировому пространству, но еще приводит к периодическим повышением температуры, которые собственно и надо рассматривать как истинную причину горообразовательных и вулканических процессов¹.

Далее с точки зрения механики было указано, что сжатие должно было бы охватить всю земную кору, потому что суммирование действия в узких горных полосах, т. е. передача давления через большие участки земной коры, превышает твердость (*Festigkeit*) оболочки, состоящей из горных пород. Этот аргумент считался до самого последнего времени наиболее веским возражением против теории сжатия. Лишь совсем недавно Гутенберг (*Handbuch der Geophysik*) на основании новых вычислений Джеффриса (*Jeffreys*) опять стал отстаивать возможность передачи давления, так что это возражение перестало быть убедительным. Правда Гутенберг далее утверждает, что количественно теория сжатия является недостаточной для объяснения известной нам картины движения².

С физической точки зрения это положение следовательно еще совсем не непреложно, и мы снова приходим к заключению, что сначала следует объяснить механизм установленной геологии точной картины движения, следовательно здесь не надо пренебрегать дедукцией. Чему же учит нас историко-геологическая картина движений? Эта тема не может быть здесь исчерпана; мне придется ограничиться только тем, чтобы отметить ее особенно важные с моей точки зрения пункты.

1. Наряду с несомненными явлениями сокращения поверхности (сдавливание), которые показывает нам каждый район складчатых гор, нельзя отрицать и противоположных тенденций к растяжению

¹ Kirsch. *Geologie und Radioaktivität*. Berlin, 1928; A. Holmes. *Radioaktivität und Geologie*. „Verh. naturf. Gesellschaft“, Basel, 41, 1930.

² Более давние аргументы против сжатия мы находим у Andréе, *Die Bedingungen der Gebirgsbildung*. Berlin, 1914; Ampferer. *Über das Bewegungsbild von Faltengebirgen*. Jahrb. österr. Geol. Reichsanstalt, 1906.

Факты, говорящие в пользу сжатия, лучше всего изложены у Nölke. *Geotektonische Hypothesen*. Berlin, 1924; Stille. *Die Schrumpfung der Erde*, 1922; Sönder. *Die erdgeschichtlichen Distrophismen*. „Geolog. Rundschau“, 1922.

Возражения на них мы находим у Ругера, там же, 1923.

поверхности; в особенности нельзя объяснить вторжение огромных масс глубинных пород без растяжения. Картину движения при образовании грабен и геосинклиналей трудно также вывести только на основании одного давления. Гутенберг совершенно правильно указывает, что явления расширения, собственно говоря, противоречат контракционной теории.

В связи с этим надо указать на то, что зональное строение складчатых гор в рамках контракционной теории остается малопонятным даже тогда, когда мы принимаем и возможность передачи на расстояние давлений; вряд ли различия в твердости пород на поверхности могут оказаться достаточными для получения столь глубоко различных картин движения в отдельных зонах.

2. Излучение теплоты происходит непрерывно, образование гор идет с перерывами; оно распадается на отдельные фазы, которые друг от друга отделяются длинными периодами покоя. Несмотря на попытки Зандера и Штилле избежать этого затруднения допущением накопления энергии, я должен признать это возражение очень веским, так как накопленные энергии являлись здесь лишь допущенной *ad hoc* гипотезой и вряд ли может быть доказано.

Но даже, если бы мы захотели принять эту вспомогательную гипотезу за вполне справедливую, остается совсем непонятным, почему отдельные фазы горообразования проявились лишь в некоторых местах, в других же они не действовали, хотя там обнаруживаются другие, близкие по времени, фазы. И здесь зональная разновременность орогенеза приводит нас к трудно объяснимым противоречиям с теорией сжатия.

3. Все возрастающие в последнее время указания на горизонтальные передвижения массивов, о которых мы говорили выше (стр. 151), дают нам новую картину движения, на глубокое значение которой еще мало обращено внимание. Если, как указал Клоос¹, нам нужно считаться с горизонтальным перемещением западного американского побережья по отношению к Тихому океану или движением западно-норвежского гнейсового массива к югу по отношению к области Осло, если даже и в центральной Европе и в Альпах все резче выступают подобные явления, то получается такой процесс движения, который ничего не имеет сходного с общей контракцией, а должен рассматриваться как прямое указание на движение континентов. Стиль строения этих зон перемещения и их связь с плутоническими процессами ясно показывают, что речь идет о линиях движения, которые не ограничиваются поверхностью, но проникают через всю кору. Отсюда нельзя сделать вывода о сжатии.

4. Описанные выше поперечные сдвиги перпендикулярны или проходят под острым углом к складкам и складчатым горам. Уже из этого вытекает возможность смотреть на них, как на плоскости среза при движении, а самую складчатость рассматривать не как сморщивание, а как нагромождение перед препятствием в направлении движения. Такое толкование также прекрасно подходит к картине движения, данной Штаубом и Арганом. Альпийские покровы ведь пред-

¹ Bau und Bewegung der Gebirge usw. Fortschritte der Geologie und Paläont. VII, 21, 1928.

ставляют собой пакки пород, которые несомненно перемещены на несколько десятков километров в горизонтальном направлении. Обусловленное таким образом сокращение пространства, разумеется, произошло не только на поверхности, но должно было также иметь место в подстилающем фундаменте. Это положение уже раньше привело нас к признанию деления земли на ярусы (стр. 50, 119), которое выражается в различной степени метаморфизма. Повторим вкратце эту последовательность ярусов.

В самом верхнем структурном ярусе текучесть пород мала; в зависимости от способности к образованию складок образуются нагромождения складок (*Verknüchtungen*) или падвиги, т. е. ярус распадается на части, которые отделяются друг от друга плоскостью движения или целой их сетью. Поскольку речь идет о кристаллических породах, появляются зоны перетирания — милониты. На большой глубине текучесть и подвижность пород увеличивается вместе с повышением температуры и давления. Следствием оказывается переход перемещения масс в мельчайшие дифференциальные движения, связанные с перекристаллизацией. Эту картину движения мы знаем по областям кристаллических сланцев, которые принимают, смотря по глубине, признаки эли-, мезо- и катазоны (стр. 81).

Это деление на ярусы с кристаллическим сложением (*Umprägung*) пород в глубине понятнее, если исходить из допущения горизонтальной подвижности массивов континентов, чем из признания простой контракции.

Это особенно ясно, если рассмотреть условия самой глубокой зоны. Мы видим, что передвижение кристаллических массивов, вроде молдавско-дунайской глыбы в Богемии или кристаллических восточных Альп, мало нарушает старую структуру; то, что мы видим, это только передвижения на самом верхнем уровне. Такие массивы, перемещающиеся горизонтально, должны отделиться от подстилающего их основания, т. е. начинают по нему скользить.

В третичных складчатых горах этот нижний ярус движения конечно скрыт от глаз, потому что денудация до него не доходит. Но теоретически приходится признать, что этот ярус находится в условиях катазоны, т. е. подвержен региональному огнейсованию: зона движения в цоколе континентальной глыбы должна состоять из гнейса.

Если бы движение было вызвано контракцией, то цоколь должен дать характерную структурную картину. В сущности можно было бы ожидать круто поставленной сланцеватости. Как сказано, в третичных и даже в каменноугольных горах это вряд ли можно проверить. Мы узнаем эту зону только там где «соответствующие глубинным движениям покровные горы» (Зандер) подверглись денудации. Этот случай мы наблюдаем только в древнейших частях континентов, прежде всего в Скандинавии, частично в Шварцвальде, во внутренней Богемии, в Подолии. Выступающие здесь гнейсы не являются продуктами каменноугольного горообразования, но весьма древним глубинным ярусом, складчатая верхняя структурная зона которого еще до каменноугольной складчатости была сильно разрушена.

Отдельные, глубокие погруженные и потому сохранившиеся части ее встречаются еще в Финляндии (Ятульские складки) и в средней Богемии (пражский алгонкий). Однако глубинные структуры (*Tief-*

bau) не обнаруживают картины общей контракции. Поразительно, как часто повторяется плоское «текучее» (schwebende) залегание: плоские купола, довольно неправильные с разных сторон, лишь иногда разделены окаймляющими их лентами крутостоящих кристаллических сланцев. Это не дает картины интенсивной складчатости, а скорее вязкого течения с ясной горизонтальной составляющей движения. Неправильное, запутанное расположение говорит о том, что в относительно пластичной массе было широко развито направленное давление.

Вряд ли приходится говорить, что это как раз та картина, которой можно ожидать от горизонтальнодвигающихся массивных глыб. Цокольдвигающейся глыбы должен обратиться в гнейс — в глубочайшей зоне движения должны были возникнуть кристаллические сланцы типа «катазоны» с дифференциальным внутренним движением и текучими расплывчатыми структурами. Исходя из контрактционной теории, вряд ли можно дать объяснение такой картине.

Если мы попытаемся обобщить данные анализа движения и прочие геолого-исторические факты, то мы увидим, что хотя современные знания не являются вполне достаточными для того, чтобы получить вполне точные результаты, но что факты говорят скорее в пользу передвижения континентов, чем против него. Правда, и возможность контракции нельзя отрицать с полной уверенностью, но несомненно, что она оказывается недостаточной для освещения общей картины движения.

Если в принципе мы считаем «эпейрофоре́з» вероятным, то из современных материалов все же остаются невыясненными ни размеры этого явления, ни его общая механика. Некоторые частные положения Вегенера, как например «отплывание» Америки от Европы могут теперь с полным правом подвергнуться сомнению. Однако против самого принципа при этом еще ничего не говорится.

Физическое толкование этой картины движения не так просто, как при контрактционной теории; не говоря об отдельных возможностях, о которых можно легко прочесть у Гутенберга¹, скажем только несколько слов о том, что принципиальное признание эпейрофоре́за ведет к следующей альтернативе.

1. Движение континентальных массивов является первичным; в этом случае оно прежде всего может быть сведено к нарушениям равновесия во всей земле, будь это, как думают некоторые, вследствие космических причин (изменения эксцентриситета земной орбиты) или, как допускают другие, перемещение полюсов или движение глыб от полюсов; наконец пусть мы сделаем вместе с Гутенбергом допущение, что разорванная сиалическая оболочка стремится закрыть имеющийся в Великом океане разрыв с помощью растекания. О порядке величин этих различных сил известны только приблизительные данные — подсчеты, которые Гутенберг (1930) сопоставил в своем обзоре.

2. Движение континентальных массивов пассивно; их несут течения в подстилающей земную кору текучей зоне. Эти течения легче

¹ Handbuch der Geophysik. Bd. III, 1930.

всего объяснить, как это делает Швиннер¹, рассматривая их как термические течения выравнивания.

Причины подобных термических течений конечно еще совершенно неопределенны; богатой перспективами кажется мне только упомянутая выше попытка объяснить избыток тепла радиоактивным распадом в земной коре (Хольмс). Полученное таким образом накопление тепла должно повести к возникновению выравнивающих течений (конвекционных течений), а избыток тепла мог бы в таком случае периодически отводиться путем плутогенеза и горообразования на поверхность. Таким путем было бы также легче всего объяснить эпизодичность горообразования.

Говоря геологическим языком, эта альтернатива сводится к вопросу о том, что представляет собой первичное явление — тектоника или вулканизм (в широком смысле слова). Тесная связь между обоими, возможность рассматривать вулканизм как особый вид «тектоники пластичного материала» (стр. 76) и вероятность того, что изменения вещества магмы имеют причинную связь с ее движением (стр. 63), позволяют надеяться, что геологическое исследование приведет нас к решению и этой последней проблемы.

Целью данной книги не является дальнейшее рассмотрение гипотетических предположений. Цель состояла в том, чтобы резче отграничить метод геологического исследования и показать, каким путем он может повести к выяснению основных вопросов, связанных с формированием земли. В результате мы видим, что геологический метод должен представить индуктивную картину, которой потом можно дать физическое объяснение. Обратный, дедуктивный путь, исходящий из физических возможностей, содержит слишком много неизвестных, чтобы позволить нам подняться над областью гипотетических спекуляций.

¹ Vulkanismus und Tektonik. Zeitschr. f. Vulkanologie, 1919—1920

Предисловие редактора	3
Предисловие	5
I. Основы геологии с точки зрения теории познания	7
II. Истолкование документов	18
Основы геологического исследования источников	18
Суперкрустальное образование пород	19
Основные законы залегания	19
Значение слоистости	23
Смена фаций во времени и пространстве	25
Суперкрустальные фации изверженных пород (эруптивов)	37
Суперкрустальные изменения залегания	37
Эпирогенез	37
Орогенез или горообразование	43
Движения, происходящие в настоящее время	50
Интеркрустальные породы	51
Основные законы	51
Последовательность застывания и структура (физическая и физико-химическая фация)	55
Химические фации (дифференциация)	59
Интеркрустальные движения	65
Образование пространства	65
Текстура и движение	72
Кристаллические сланцы	77
Актуализм или эксцепционализм	77
Рассмотрение явлений метаморфизма с физической точки зрения	80
Ультраметаморфизм	83
Возраст движений кристаллических сланцев	85
Положение кристаллических сланцев во времени и пространстве	88
III. Геологическое понятие о времени	90
Абсолютное исчисление времени	90
Основные предпосылки	90
Астрономический метод	92
Физический метод	94
Относительное измерение времени	96
Петрографический критерий	96
Биологическое исчисление времени	99
Понятие тождественности	102
Понятие одновременности	106
Горообразование и времяисчисление	111
IV. Геологическая систематика	118
Общие данные	118
Глыбы	118
Шельфы	122
Определение	122
Стабильные шельфы (устойчивые плиты)	123

	Стр.
Лабильные шельфы (неустойчивые плиты)	131
Образование форм поверхности шельфов	135
Геосинклинали	142
Эпирогенез	142
Орогенез	145
Зональное строение складчатых гор	147
Поперечные дизъюнктивные нарушения (Transversalstörungen) . . .	151
Плутогенез геосинклиналей	154
Океанические бассейны	157
Сводка систематических данных	158
 V. Строение и движение земли в свете геологической методики	 163
Основные геологические представления	163
Внутренняя часть земли	164
Строение оболочки	166
Механизм горообразования	172



Редактор *Е. В. Милановский.*

Техн. редактор *А. С. Полосина.*

Госгорногеолиздат № 102. Индекс ГР-65-5-2. Тираж 4 000. Сдано в набор 1/XII-33 г.
Подп. к печ. 11/VII-34 г. Формат бумаги 62 × 94¹/₁₆. Авт. лист. 14,5. Бум. лист. 5³/₄.
Печ. зн. в бум. листе 101.504. Заказ № 1291. Уполн. Главлита № В-87531. Выход
в свет август 1934 г.

3-я тип. ОНТИ им. Бухарина. Ленинград, ул. Моисеенко, 10.